



Ana Isabel Campos Correia

Simulação do ozono no ar ambiente no Nordeste Transmontano



**Ana Isabel Campos Correia Simulação do ozono no ar ambiente no Nordeste
Transmontano**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Isabel Miranda, Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Doutor Carlos Alberto Diogo Soares

Professor Catedrático do Departamento do Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Vogais

Doutor Manuel Joaquim Sabença Feliciano

Professor Equiparado a Assistente na Escola Superior Agrária de Bragança do Instituto Politécnico de Bragança

Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda

Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

À Mestre Alexandra Monteiro e Mestre Pedro Santos da equipa de trabalho GEMAC, e Professora Dr.^a Teresa Nunes que gentilmente me forneceram material necessário e aclararam algumas dúvidas.

À equipa de trabalho da CCDR – Norte e Dr. Miguel Coutinho do IDAD pelos dados fornecidos.

Aos meus amigos, colegas, família e orientadora que não me deixaram desistir quando tudo parecia querer desabar.

A todos aqueles a quem fiquei a dever tempo e paciência.

A todos Obrigada.

Palavras-chave

Meteorologia, Monitorização, Ozono Troposférico, Poluição Fotoquímica, Qualidade do Ar, Simulação.

Resumo

Lamas de Olo, uma aldeia esquecida no Parque Natural do Alvão, sem tráfego rodoviário nem qualquer indústria, regista com frequência níveis elevados de ozono troposférico, facto que tem suscitado preocupações relativamente a repercussões graves na saúde humana e vegetação. O tema para este trabalho surgiu como consequência do envolvimento da Universidade de Aveiro no Projecto FOTONET, tendo como objectivo primordial o estudo e a recolha de informações relativas às possíveis origens do ozono troposférico na região.

Neste trabalho analisaram-se dados da estação de monitorização da qualidade do ar de Lamas de Olo, dados provenientes das campanhas resultantes do projecto FOTONET e simulou-se ainda a qualidade do ar da região através da aplicação de um modelo meteorológico e de qualidade do ar, TAPM (The Air Pollution Model). Apesar do modelo subestimar os valores medidos, permite estimar tendências evolutivas e prever os locais onde as concentrações serão mais elevadas.

A análise dos dados da estação e das campanhas, permitiu concluir que Lamas de Olo apresenta características únicas, provavelmente devido à topografia da região e altitude. Pela simulação da qualidade do ar foi possível concluir ser essencial investir na ampliação e redefinição da rede de monitorização da qualidade do ar, dado prever níveis elevados de ozono em regiões sem monitorização.

Keywords

Air quality, Meteorology, Monitoring, Photochemical Pollution, Simulation, Tropospheric Ozone.

Abstract

Lamas de Olo, a village forgotten in the Alvão Natural Park, without road traffic or industry, notes with frequency high levels of tropospheric ozone, fact that has been raising concerns for serious repercussions on human health and vegetation. The theme for this work came as a result of the involvement of Aveiro University on the FOTONET Project, with the primary objective the study and collect of informations about the possible origins of the tropospheric ozone on the region.

This work is based on the analyses of the data from air quality station monitoring Lamas de Olo, data from the campaigns resulting from the FOTONET Project, and the simulation of region's air quality by applying a weather and air quality model, TAPM (The Air Pollution Model). Despite the model underestimate the measured values, allows estimate trends and predict the local where the concentrations are going to be highest.

The data analyses enabled concludes that Lamas de Olo has uniques characteristics, probably because of the region's topography and altitude. The air quality simulation enabled conclude that is essential the investment on the extension and redefinition of the air quality monitoring network since predict high levels of ozone on regions without monitoring.



ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	- 1 -
2. POLUIÇÃO FOTOQUÍMICA	- 3 -
2.1. Ozono Troposférico	- 4 -
2.1.1 Processos de produção e remoção em ambiente rural	- 6 -
2.1.2 Processos de produção e remoção em ambiente urbano	- 8 -
2.2. Enquadramento Legislativo	- 8 -
3. A QUALIDADE DO AR EM LAMAS DE OLO	- 12 -
3.1 Monitorização em contínuo.....	- 16 -
3.1.1 Análise dos dados face à legislação	- 16 -
- Limiares de informação e de alerta à população	- 16 -
- Protecção da saúde humana.....	- 19 -
- Protecção da vegetação	- 19 -
- Protecção da floresta	- 20 -
- Protecção dos materiais	- 20 -
3.1.2 Distribuição diária, mensal e sazonal dos dados.....	- 22 -
3.1.3 Análise de acordo com os dados meteorológicos.....	- 28 -
- Temperatura do ar ambiente	- 28 -
- Radiação Solar	- 30 -
- Velocidade e Direcção do Vento.....	- 30 -
- Precipitação	- 38 -
3.1.4 Análise do tipo de correlação existente entre o ozono e seus precursores	- 38 -
3.1.5 Lamas de Olo versus Senhora do Minho.....	- 40 -
3.1.6 Síntese conclusiva	- 42 -
3.2 Projecto FOTONET	- 43 -
3.2.2 Análise dos resultados	- 47 -
4. MODELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR	- 54 -
4.1 O Modelo TAPM.....	- 54 -
4.1.1 Descrição Física do Modelo	- 56 -
4.2. Condições de simulação	- 58 -
4.2.1 Base de dados de emissões	- 60 -
4.2.2 Resultados da validação.....	- 61 -
4.2.3 Resultados da simulação.....	- 67 -
5. COMENTÁRIOS FINAIS	- 70 -
REFERÊNCIAS:	- 72 -
ANEXOS:	- 75 -



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Estimativa do balanço global para o ozono troposférico	4
Figura 3.1. Representação das zonas e aglomerações da região Norte e localização das estações de monitorização	12
Figura 3.2. Aldeia de Lamas de Olo	14
Figura 3.3. Estação de monitorização da qualidade do ar de Lamas de Olo	15
Figura 3.4. Resumo dos máximos horários de ozono em cada ano registados na estação de monitorização de Lamas de Olo	18
Figura 3.5. Resumo dos mínimos de ozono em cada ano registados na estação de monitorização de Lamas de Olo	19
Figura 3.6. Concentrações médias horárias de ozono registadas para cada hora em cada mês do ano de 2004	22
Figura 3.7. Concentrações médias horárias de ozono registadas para cada hora em cada mês do ano de 2005	23
Figura 3.8. Concentrações médias horárias de ozono registadas para cada hora em cada mês do ano de 2006	23
Figura 3.9. Máximas excedências horárias ao limiar de informação registadas para cada hora para cada ano	24
Figura 3.10. Frequência de ocorrência de excedências ao limiar de informação, para cada hora para cada ano	25
Figura 3.11. Concentrações médias horárias de ozono por estação do ano	27
Figura 3.12. Relação entre as excedências dos níveis de ozono e a temperatura para o ano 2004	29
Figura 3.13. Relação entre as excedências dos níveis de ozono e a temperatura para o ano 2005	29
Figura 3.14. Relação entre as excedências dos níveis de ozono e a temperatura para o ano 2006	29
Figura 3.15. Rosas de Poluição da estação de Lamas de Olo para os anos 2004, 2005 e 2006	32
Figura 3.16. Rosas de Poluição mensais da estação de Lamas de Olo para o ano de 2004	33
Figura 3.17. Rosas de Poluição mensais da estação de Lamas de Olo para o ano de 2005	34
Figura 3.18. Rosas de Poluição mensais da estação de Lamas de Olo para o ano de 2006	35
Figura 3.19. Rosas de Poluição sazonais da estação de Lamas de Olo para o ano de 2004	36
Figura 3.20. Rosas de Poluição sazonais da estação de Lamas de Olo para o ano de 2005	36
Figura 3.21. Rosas de Poluição sazonais da estação de Lamas de Olo para o ano de 2006	37
Figura 3.22. Relação existente entre as concentrações de ozono e óxidos de azoto no ano 2004	39
Figura 3.23. Relação existente entre as concentrações de ozono e óxidos de azoto no ano 2005	39



Figura 3.24. Relação existente entre as concentrações de ozono e óxidos de azoto no ano 2006	40
Figura 3.25. Comparação entre os níveis de ozono registados nas estações de Lamas de Olo e Senhora do Minho	41
Figura 3.26. Localização dos pontos de amostragem das campanhas do projecto FOTONET (Monitorização contínua)	44
Figura 3.27. Comparação dos níveis de ozono em Lamas de Olo e ponto IP4/A24	48
Figura 3.28. Comparação dos níveis de ozono em Lamas de Olo e Ermelo	49
Figura 3.29. Comparação dos níveis de ozono em Lamas de Olo e Lalim	50
Figura 3.30. Comparação dos níveis de ozono em Lamas de Olo e Mezio	50
Figura 3.31. Comparação dos níveis de ozono em Lamas de Olo e Valpaços	51
Figura 3.32. Rosas de Poluição relativas a cada ponto de amostragem	52
Figura 4.1. Representação esquemática do Modelo TAPM	55
Figura 4.2. Domínios de estudo e identificação do ponto central, nomeadamente Lamas de Olo	59
Figura 4.3. Comparação dos dados medidos com os dados simulados para a temperatura para o domínio 3	62
Figura 4.4. Comparação dos dados medidos com os dados simulados para a velocidade do vento para o domínio 3	63
Figura 4.5. Comparação dos dados medidos com os dados simulados para a direcção do vento para o domínio 3	63
Figura 4.6. Comparação dos dados medidos com os dados simulados para a radiação solar para o domínio 3	64
Figura 4.7. Comparação dos dados medidos com os dados simulados para a precipitação para o domínio 3	64
Figura 4.8. Comparação entre os níveis medidos de ozono e os simulados para os três domínios	66
Figura 4.9. Campo de concentrações de ozono para os meses de Janeiro a Março de 2006	54
Figura 4.10. Campo de concentrações de ozono para os meses de Abril a Setembro de 2006	55
Figura 4.11. Campo de concentrações de ozono para os meses de Outubro a Dezembro de 2006	55
Figura II.1. Dias de Excedências dos anos 2004, 2005 e 2006	II.xiii



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Fontes de emissão dos precursores do ozono	5
Tabela 2.2. Efeitos da poluição atmosférica por ozono na saúde, vegetação e materiais	9
Tabela 2.3. Noções de Valor Alvo, Objectivos a Longo Prazo e Limiares de Informação e de Alerta à População, e respectivos valores, de acordo com a Directiva 2002/3/CE, de 12 de Fevereiro	10
Tabela 2.4. Informações a apresentar anualmente à Comissão Europeia, de acordo com a Directiva 2002/3/CE, de 12 de Fevereiro	11
Tabela 3.1. Dados demográficos da zona Norte Interior	13
Tabela 3.2. Excedências aos limiares de informação e alerta à população no período de funcionamento da estação de Lamas de Olo (base horária)	17
Tabela 3.3. Resumo das excedências registadas ao valor alvo de protecção da saúde humana, na estação de Lamas de Olo	19
Tabela 3.4. Resumo das excedências registadas ao valor alvo de protecção da vegetação, na estação de Lamas de Olo	20
Tabela 3.5. Resumo das excedências registadas ao valor alvo de protecção da floresta, na estação de Lamas de Olo	20
Tabela 3.6. Resumo das excedências registadas ao valor alvo de protecção dos materiais, na estação de Lamas de Olo	21
Tabela 3.7. Temperaturas anuais em que ocorreram excedências aos limiares de informação da população	28
Tabela 3.8. Níveis de radiação solar anuais em que ocorreram excedências ao limiar de informação da população	30
Tabela 3.9. Condições de vento em que ocorreram excedências ao limiar de informação da população	31
Tabela 3.10. Identificação dos períodos de monitorização de cada ponto de amostragem	45
Tabela 3.11. Identificação dos parâmetros monitorizados em cada ponto de amostragem	46
Tabela 3.12. Identificação das características dos pontos de amostragem	47
Tabela 4.1. Reacções consideradas no mecanismo fotoquímico do modelo TAPM	57
Tabela 4.2. Coeficientes de correlação para a temperatura, velocidade e direcção do vento, radiação solar e precipitação para os domínios de estudo	61
Tabela 4.3. Coeficientes de correlação para a concentração de ozono para os domínios de estudo	65
Tabela I.1. Parâmetros estatísticos relativos aos dados de ozono para o ano de 2004	I.i
Tabela I.2. Parâmetros estatísticos relativos aos dados de ozono para o ano de 2005	I.ii



Tabela I.3. Parâmetros estatísticos relativos aos dados de ozono para o ano de 2006	I.iii
Tabela I.4. Eficiência anual dos parâmetros meteorológicos registados na estação de Lamas de Olo	I.iv
Tabela II.1. Excedências horárias de ozono ao limiar de informação ao público na estação de monitorização de Lamas de Olo para o ano de 2004	II.i
Tabela II.2. Excedências horárias de ozono ao limiar de informação ao público na estação de monitorização de Lamas de Olo para o ano de 2005	II.ii
Tabela II.3. Excedências horárias de ozono ao limiar de informação ao público na estação de monitorização de Lamas de Olo para o ano de 2006	II.x
Tabela II.4. Excedências nocturnas aos limiares de informação e de alerta na estação de Lamas de Olo	II.xiii



1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é a expressão utilizada para traduzir o grau de poluição no ar, sendo um dos principais indicadores do desenvolvimento sustentável. Devido à crescente urbanização tem-se verificado uma evolução no grau de degradação do ambiente, em especial da qualidade do ar, tornando-se a poluição atmosférica um dos problemas que mais afecta o planeta, decorrente de emissões de poluentes resultantes de fontes directas (poluentes primários) ou de reacções químicas entre os poluentes emitidos e/ou os gases presentes na atmosfera (originam poluentes secundários), que levam à alteração da composição natural do ar troposférico. Uma das preocupações que tem vindo a despertar grande atenção é a poluição fotoquímica, associada à formação de ozono troposférico, cujas consequências são registadas a uma escala global e por vezes irreversível. A investigação científica tem evidenciado um aumento constante dos níveis de ozono troposférico no Hemisfério Norte nos últimos anos (Carvalho, 2005).

Para o conhecimento do estado da qualidade do ar e definição de estratégias para sua gestão, é essencial a elaboração de planos de acção baseados na monitorização da qualidade do ar, nos inventários de emissões de poluentes e na modelação da qualidade do ar. É nas estações de monitorização da qualidade do ar que se efectuam medições das concentrações de poluentes ao nível do solo e com estas monitorizações se infere sobre os efeitos dos poluentes nos receptores. Para compreender o fenómeno e identificar a localização das fontes de emissão, é essencial a elaboração de inventários de emissões e a modelação da qualidade do ar.

Este estudo surge no âmbito do Projecto FOTONET – *Poluição Atmosférica Fotoquímica no Nordeste Transmontano: Origem, Transporte e Dispersão*, e com ele se pretende avaliar a qualidade do ar à escala do Norte Interior de Portugal Continental recorrendo aos três instrumentos de análise contemplados na Directiva-Quadro da Qualidade do Ar: monitorização, inventariação e modelação. O poluente alvo é o ozono troposférico, devido aos níveis bastante elevados deste poluente medidos nesta zona, o que não é frequente em ambientes com as características rurais como este. O modelo seleccionado é um modelo meteorológico e de qualidade do ar – TAPM (The Air Pollution Model).



No segundo capítulo desta dissertação apresenta-se uma revisão do estado actual dos conhecimentos relativos à poluição fotoquímica, em particular ao ozono troposférico, sua génese, impactes ambientais e enquadramento legislativo. Mais adiante, no terceiro capítulo, descreve-se a zona em estudo e analisam-se os dados de qualidade do ar registados na estação de monitorização, bem como os medidos nas campanhas do projecto FOTONET. No quarto capítulo apresenta-se o modelo a utilizar neste estudo, e analisam-se os seus resultados. No último capítulo encontram-se as conclusões do trabalho desenvolvido.



2. POLUIÇÃO FOTOQUÍMICA

A definição de Poluição Atmosférica surgiu pela primeira vez na legislação nacional no âmbito do Decreto-Lei n.º 276/99, de 23 de Julho, como sendo “*a introdução, pelo homem, na atmosfera, directa ou indirectamente, de poluentes atmosféricos*”, e poluentes atmosféricos como sendo quaisquer “*substâncias introduzidas, directa ou indirectamente, pelo homem no ar ambiente, que exercem uma acção nociva sobre a saúde humana e meio ambiente*”.

É na troposfera (região até aproximadamente os 10 km de altitude) que ocorrem os fenómenos de maior relevância para as actividades humanas, sendo que aí o ar é considerado limpo quando composto por azoto ($\approx 78\%$), oxigénio ($\approx 21\%$), alguns gases nobres, e outros que vão ocorrendo em baixas concentrações (Seinfeld e Pandis, 1997), e poluído quando os poluentes emitidos têm impacte negativo na qualidade do ar, tendo em conta a sua composição química, a concentração da massa de ar, as condições meteorológicas (os ventos fortes e as chuvas levam a uma maior dispersão dos poluentes, enquanto que a luz solar pode acentuar os efeitos negativos) e a altitude das fontes de emissão (afecta a dispersão dos poluentes pois, se a emissão for ao nível do solo, o impacto é imediato, enquanto que se ocorrer em altitude, o impacto surge a uma maior distância da fonte). As fontes emissoras diferem com o poluente, podendo ser antropogénicas (resultantes de actividades humanas, tais como, a actividade industrial ou o tráfego automóvel) ou naturais (resultantes de fenómenos naturais, tais como, erupções vulcânicas).

Pensava-se que a poluição atmosférica era um fenómeno característico de centros urbanos e de zonas industriais por aí ocorrerem as maiores emissões de poluentes e pela sua maior dificuldade de dispersão (devido à morfologia urbana). No entanto, a verdade é que a poluição atmosférica é um problema global, uma vez que os poluentes emitidos se dispersam por toda a atmosfera e aí podem permanecer em função do seu tempo de residência, por longos períodos de tempo. Pode até ser responsável por alterações a nível planetário (tais como alterações climáticas devidas ao aquecimento global do planeta), o que obriga a esforços a nível internacional. Um dos poluentes atmosféricos mais preocupantes, pelos efeitos nefastos que apresenta, é o ozono troposférico que se encontra directamente relacionado com a poluição fotoquímica.



2.1. Ozono Troposférico

A molécula do ozono, formada por três átomos de oxigénio, encontra-se tipicamente na estratosfera na camada de ozono, no entanto, pode ocorrer na troposfera. A baixa altitude, na troposfera, provoca poluição atmosférica, enquanto que a alta altitude, na estratosfera, protege a Terra dos raios ultravioleta, retendo-os.

O ozono troposférico é um gás com elevado poder oxidante, cuja distribuição espaço-temporal é controlada por diversos processos responsáveis pela sua produção e remoção. Os principais precursores são óxidos de azoto (NO_x) e compostos orgânicos voláteis não-metano (COVNM - hidrocarbonetos como alcanos, alcenos, alcinos e aromáticos, e hidrogenados como aldeídos e cetonas; não inclui o metano que pela sua importância e concentração na atmosfera é tratado autonomamente). Porém, o metano (CH_4) e o monóxido de carbono (CO) também são gases preponderantes nos níveis de ozono (O_3) registados, uma vez que competem pelo radical hidroxilo (OH) influenciando a quantidade de NO_x disponível para a formação de O_3 (Valinhas, 2000). As reacções entre estes poluentes, conjugadas com situações meteorológicas caracterizadas por radiação solar intensa levam à produção do O_3 . São conhecidas cerca de 30 000 reacções relacionadas com a sua produção e remoção (Lopes, 1997). Por resultar de processos de transformação química de poluentes primários é designado poluente secundário.

Na Figura 2.1. representa-se de forma simples e esquemática o balanço global do O_3 troposférico e suas respectivas contribuições relativas estimadas.

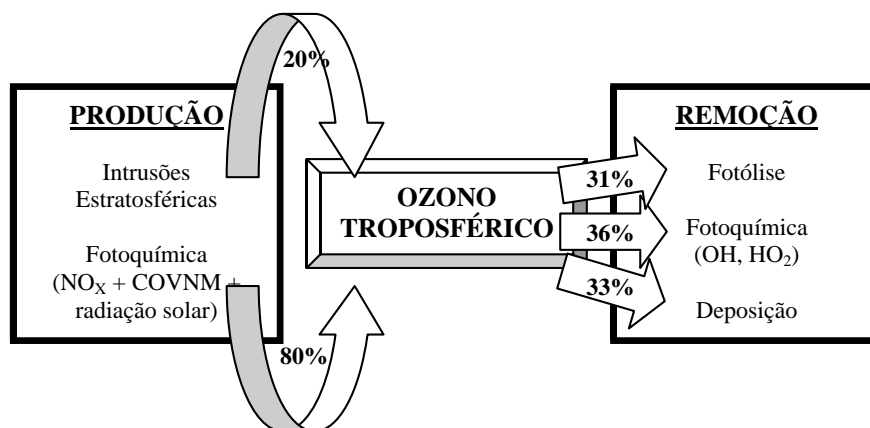


Figura 2.1. Estimativa do balanço global para o ozono troposférico (Fonte: Barros, 1999).



Os sectores de actividade que emitem maior quantidade de precursores do O_3 são o sector dos transportes (combustão de combustíveis fósseis) e o industrial (indústria petroquímica e eléctrica) (ver Tabela 2.1). Uma vez que estes sectores continuam em expansão, a quantidade média de O_3 troposférico quadruplicou desde o início do século XX (Ribeiro, 2005).

Tabela 2.1. Fontes de emissão dos precursores do ozono (Fonte: Seinfeld e Pandis, 1997)

	Fontes	
Óxidos de Azoto (NO_x)	<i>Antropogénicas</i>	Queima de combustíveis fósseis (veículos e indústria)
	<i>Naturais</i>	Queima de biomassa, relâmpagos, actividade microbiológica no solo
Compostos Orgânicos Voláteis não metânicos (COVNM)	<i>Antropogénicas</i>	Refinarias, veículos, evaporação de combustíveis e solventes
	<i>Naturais</i>	Emissões da vegetação
Metano (CH_4)	<i>Antropogénicas</i>	Indústria petrolífera, distribuição de gás natural e queima de biomassa
	<i>Naturais</i>	Decomposição bacteriana da matéria orgânica em condições anaeróbias, processos de desgaseificação de minas de carvão
Monóxido de Carbono (CO)	<i>Antropogénicas</i>	Combustão incompleta da matéria orgânica e combustíveis fósseis e oxidação do metano e dos hidrocarbonetos presentes na atmosfera
	<i>Naturais</i>	

O CH_4 apresenta variação sazonal com máximos no Inverno e na Primavera e tem tido uma taxa de crescimento média de 0,9% por ano. Já o CO apresenta um máximo no Inverno e a sua concentração tem aumentado na troposfera a uma taxa de 1 a 3% ao ano no Hemisfério Norte, enquanto que no Hemisfério Sul os aumentos têm ocorrido a níveis mais baixos. Os NO_x têm tido uma evolução de 1,1-2,5% ao ano, enquanto que os COVNM têm tido um aumento de 0,8-1% ao ano no Hemisfério Norte, enquanto que no Hemisfério Sul não há conhecimento da sua evolução na atmosfera. Em Portugal, grande parte das emissões de COVNM justifica-se pela forte presença de floresta (Barros, 1999).

Uma vez que o ozono troposférico resulta de reacções fotoquímicas, tem-se verificado uma maior incidência nos meses de Verão, em especial nos dias em que se registam temperaturas elevadas, ou então aquando da ocorrência de trovoadas, uma vez que estas emitem NO_x (Hov, 1997).

Habitualmente, nas zonas com maior densidade populacional/ actividade industrial, consequentemente com maior volume de tráfego e emissões de precursores de O_3 , predomina o consumo do O_3 produzido, levando a que estes locais apresentem concentrações relativamente



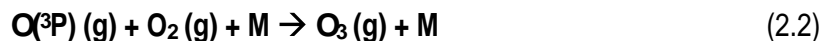
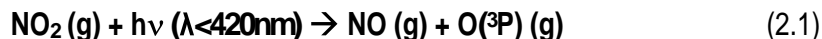
baixas deste. É nas zonas mais afastadas destes centros (na ordem das dezenas de km) que se encontram os níveis mais elevados. Durante o percurso do penacho ocorre a oxidação dos NO_x levando à predominância de processos produtivos de O_3 face aos processos de consumo. Este transporte está associado a circulações de mesoscala fortemente influenciadas pelas características geográficas da região (tais como o relevo). No entanto, o transporte de precursores também pode ocorrer ao longo de centenas de quilómetros (na ordem dos 100 a 500 km). Neste caso já são as circulações sinópticas que influenciam os níveis de O_3 na camada limite atmosférica, e o transporte está associado aos grandes sistemas meteorológicos, tais como anticiclones, depressões ou sistemas frontais (Felipe-Sotelo *et al.*, 2006). Portanto, os níveis de O_3 troposférico sobre a Europa são também afectados pelas emissões provenientes de outros continentes (Agência Europeia do Ambiente, 1998). Em locais a alta altitude existe ainda a possibilidade de ocorrerem intrusões de O_3 estratosférico levando ao aumento dos níveis de O_3 na troposfera (Ribas *et al.*, 2006).

Os níveis de fundo geralmente encontrados para o O_3 variam entre 40 e 100 $\mu\text{g.m}^{-3}$, estando este valor dependente da época do ano e da latitude (factores que influenciam a intensidade da radiação solar). As latitudes médias do Hemisfério Norte e a vizinhança dos trópicos são os locais que reúnem condições mais favoráveis para a sua produção durante a estação seca (Barros, 1999).

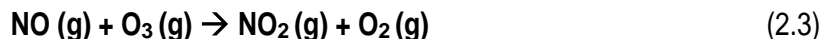
Tendo em conta a importância do número e concentração dos diferentes compostos envolvidos na sua produção e remoção, importa distinguir os processos verificados em ambiente rural (não poluído) e ambiente urbano (poluído).

2.1.1 Processos de produção e remoção em ambiente rural

Numa atmosfera rural, o O_3 resulta da reacção de recombinação dum átomo de oxigénio no estado fundamental ($\text{O}(^3\text{P})$), produzido na fotólise do dióxido de azoto (NO_2) (equação 2.1, onde $h\nu$ representa a radiação solar, sendo h a constante de Planck e ν a frequência de radiação), com uma molécula de oxigénio (O_2), na presença de uma substância inerte M , que estabiliza os produtos de reacção (M pode ser uma molécula de O_2 , de N_2 ou outra que absorva o excesso de energia vibracional) (equação 2.2).



Após a formação de O_3 pode ocorrer a sua destruição, através da sua reacção com monóxido de azoto (NO), resultante da fotodissociação do NO_2 , de acordo com a equação (2.3):



Esta reacção ocorre rapidamente (em questão de minutos) e repõe o NO_2 na atmosfera. Na ausência de outras espécies que possam interferir no ciclo, e dependendo das concentrações iniciais, assiste-se a um equilíbrio foto-estacionário entre as moléculas de NO , NO_2 e O_3 sem produção efectiva de O_3 . No entanto, na presença de COV, a probabilidade de formação do O_3 aumenta, uma vez que os radicais orgânicos resultantes da oxidação do CO e do CH_4 (radicais hidro-peróxido (HO_2) e metil-peróxido (CH_3O_2)) reagem com o NO formando NO_2 que por sua vez, na presença da radiação solar ($h\nu$) pode levar à formação adicional de O_3 (equações 2.4 e 2.5).



O O_3 pode ser removido da atmosfera, quer por degradação fotoquímica, quer por deposição no solo. O seu maior sumidouro neste meio é a deposição seca (Valinhas, 2000).

Em zonas rurais, os teores de O_3 estão sujeitas a um ciclo diurno com um valor mínimo antes de amanhecer e um máximo antes do final da tarde. Esta variação resulta da combinação da produção fotoquímica e do transporte vertical de ar das camadas superiores ricas em O_3 com as perdas originadas por deposição seca e por reacção com o NO durante a noite. É durante a noite que cessa a produção fotoquímica e o transporte vertical é impedido pelas inversões de temperatura (Felipe-Sotelo, 2006).



2.1.2 Processos de produção e remoção em ambiente urbano

Em ambiente urbano, o número e concentração de precursores do O_3 aumenta bastante. Aqui, os picos resultam da perturbação introduzida pelo ciclo de oxidação dos COV no ciclo natural $NO_x - O_3$, ao permitir vias alternativas para a oxidação do NO a NO_2 sem passar pelo consumo de O_3 . Os mecanismos de oxidação dos COV são induzidos pelo radical OH^\cdot durante o dia e pelo radical NO_3^\cdot durante a noite, levando à produção de radicais capazes de oxidar o NO a NO_2 levando à acumulação de O_3 (equações 2.1 e 2.2). Para tal ocorrer é imprescindível que a radiação solar seja suficientemente elevada para iniciar a fotodissociação.

Neste tipo de meios, os carbonilos (aldeídos e cetonas) são uma fonte potencial de radicais livres que podem levar à formação de O_3 e ajudam na oxidação de outros COV. Aqui os carbonilos são poluentes primários emitidos por diversas fontes, mas também poluentes secundários produzidos pela oxidação de diversos COV (Barros, 1999).

Uma das formas de remoção do O_3 das atmosferas poluídas é através da sua reacção com os NO_x . Neste tipo de ambiente existe uma produção abundante de NO durante o dia e consequente desaparecimento total do O_3 durante a noite (através da reacção descrita pela equação 2.3) (Felipe-Sotelo, 2006).

2.2. Enquadramento Legislativo

Concentrações de ozono superiores aos níveis de fundo afectam gravemente a saúde e bem-estar humano, dos animais, a vegetação e os materiais, para além de que contribuem para o efeito de estufa (ver Tabela 2.2.).



Tabela 2.2. Efeitos da poluição atmosférica por ozono na saúde, vegetação e materiais (Fonte: Seinfeld e Pandis, 1997)

Efeitos	
...na saúde	<ul style="list-style-type: none">• Irritação dos olhos;• Irritação das vias respiratórias uma vez que as oxida podendo provocar dificuldades respiratórias, tais como, impossibilidade de respirar fundo, inflamações dos brônquios e tosse.
...na vegetação	<ul style="list-style-type: none">• Reduz a taxa de fotossíntese e de crescimento das plantas podendo provocar a morte celular das folhas;• Perdas agrícolas devido a danos irreversíveis na vegetação, principalmente em espécies sensíveis.
...nos materiais	<ul style="list-style-type: none">• Devido ao seu poder oxidante, deteriora a borracha (os residentes de Los Angeles, habituados a altos níveis de ozono, têm de substituir pneus e limpa pára-brisas com maior frequência do que o normal).

Os efeitos deste poluente na saúde humana dependem das concentrações registadas no ambiente, da duração da exposição ao poluente, do volume de ar inalado e do grau de sensibilidade ao mesmo, que é variável de indivíduo para indivíduo. Os grupos mais vulneráveis são as crianças, os idosos, os asmáticos/alérgicos e os doentes pulmonares e/ou cardiovasculares.

De acordo com o IPCC (1995), o ozono troposférico aumenta em cerca de 8% o potencial de aquecimento de outros gases de efeito estufa, tais como, o dióxido de carbono e os clorofluorcarbonetos.

Devido aos possíveis impactes ambientais deste poluente, as entidades competentes têm vindo a estabelecer normas de qualidade do ar associadas ao ozono troposférico. Na Europa, a *Directiva 2002/3/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Fevereiro de 2002, relativa ao ozono no ar ambiente* fixou valores baseados em estudos efectuados no âmbito da Organização Mundial de Saúde (OMS), especificamente na relação dose/efeito determinada para este poluente. Estabeleceram-se assim vários objectivos (ver Tabela 2.3): limiares de informação e de alerta à população, valores alvo para o ano de 2010 para protecção da saúde e da vegetação, e ainda objectivos a longo prazo para protecção da saúde e da vegetação. Em Portugal, esta directiva foi transposta pelo *Decreto-Lei n.º 320/2003, de 20 de Dezembro*, que revogou a Portaria n.º 623/96, de 31 de Outubro.



Tabela 2.3. Noções de *Valor Alvo*, *Objectivos a Longo Prazo* e *Limiares de Informação e de Alerta à População*, e respectivos valores, de acordo com a Directiva 2002/3/CE, de 12 de Fevereiro.

	Definição	
Valor-Alvo	<i>“Nível fixado com o objectivo, a longo prazo, de evitar efeitos nocivos para a saúde humana e/ou ambiente na sua globalidade, a alcançar, na medida do possível, no decurso de um período determinado”</i>	<i>Valor alvo para protecção da saúde:</i> $120\mu\text{g.m}^{-3}$ (valor a não exceder em mais de 25 dias por ano civil, calculados em média em relação a 3 anos) (o parâmetro a analisar é o valor máximo das médias octo-horárias ⁽¹⁾ do dia) <i>Valor alvo para protecção da vegetação:</i> $18\,000\mu\text{g.m}^{-3}\text{h}^{-1}$ (calculados em média em relação a 5 anos) (AOT40 ⁽²⁾ calculado com base em valores horários medidos de Maio a Julho (inclusive))
Objectivo a Longo Prazo	<i>“Concentração no ar ambiente de ozono abaixo da qual, de acordo com os conhecimentos científicos actuais, é improvável a ocorrência de efeitos nocivos directos na saúde humana e/ou ambiente em geral. Este objectivo deve ser atingido a longo prazo, salvo quando tal não seja exequível através de medidas proporcionadas, com o intuito de proteger de forma eficaz a saúde humana e o ambiente”</i>	<i>Objectivo a longo prazo para protecção da saúde:</i> $120\mu\text{g.m}^{-3}$ (valor máximo da média octo-horária do dia num ano civil) <i>Objectivo a longo prazo para protecção da vegetação:</i> $6\,000\mu\text{g.m}^{-3}\text{h}^{-1}$ (AOT40 ⁽¹⁾ calculado com base em valores horários medidos de Maio a Julho)
Limiar de Informação	<i>“Nível acima do qual uma exposição de curta duração acarreta riscos para a saúde humana de grupos particularmente sensíveis da população e a partir do qual é necessária informação actualizada”</i>	$180\mu\text{g.m}^{-3}$ (Média horária)
Limiar de Alerta	<i>“Nível acima do qual uma exposição de curta duração acarreta riscos para a saúde humana da população em geral e a partir do qual os Estados-Membros devem tomar medidas imediatas”</i>	$240\mu\text{g.m}^{-3}$ (Média horária)

⁽¹⁾ A média octo-horária calcula-se três vezes por dia com base nos valores horários entre as 0 e as 8 horas, as 8 e as 16 horas, as 16 e as 24 horas.

⁽²⁾ AOT40 [expressa em $\mu\text{g.m}^{-3}\text{h}^{-1}$] é a soma das diferenças entre as concentrações horárias de ozono superiores a $80\mu\text{g/m}^3$ e o valor $80\mu\text{g/m}^3$, num determinado período utilizando apenas os dados horários obtidos diariamente entre as 8 e as 20 horas (hora da Europa Central).

De acordo com a legislação em vigor, exige-se que os Estados-Membros estabeleçam um procedimento de monitorização, de intercâmbio de informações, e de informação e alerta da população no que diz respeito a episódios de poluição atmosférica por ozono troposférico. São as Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) que têm a responsabilidade da monitorização da qualidade do ar das suas áreas de jurisdição, bem como da divulgação da



ocorrência de situações de excedências relativamente aos valores legislados às organizações interessadas e ao público. Passa a ser obrigatória a entrega de um relatório anual à Comissão Europeia com as informações constantes na Tabela 2.4, que serão analisadas no decorrer deste trabalho.

Tabela 2.4. Informações a apresentar anualmente à Comissão Europeia, de acordo com a Directiva 2002/3/CE, de 12 de Fevereiro.

	Tipo de Estação	Nível	Parâmetro
Limiar de Informação	Qualquer	180 $\mu\text{g.m}^{-3}$	Média horária
Limiar de Alerta	Qualquer	240 $\mu\text{g.m}^{-3}$	Média horária
Protecção da saúde	Qualquer	120 $\mu\text{g.m}^{-3}$	Média octo-horária
Protecção da vegetação	Suburbana, rural e rural de fundo	AOT40=6 000 $\mu\text{g.m}^{-3}\text{h}^{-1}$	Média horária, cumulativamente de Maio a Julho (inclusive)
Protecção das florestas	Suburbana, rural e rural de fundo	AOT40=20 000 $\mu\text{g.m}^{-3}\text{h}^{-1}$	Média horária, cumulativamente de Abril a Setembro (inclusive)
Protecção dos materiais	Qualquer	40 $\mu\text{g.m}^{-3}$	Média anual

Em Portugal Continental, a actual rede de monitorização da qualidade do ar é constituída por 67 estações, estando a maioria situada na zona costeira junto a centros urbanos e industriais. Na região Norte existem 23 estações divididas por 2 zonas (Norte Interior e Norte Litoral) e 4 aglomerações (Porto Litoral, Vale do Sousa, Vale do Ave e Braga), sendo que, de acordo com o Decreto-Lei 276/99, de 23 de Julho, zona é “*uma área geográfica de características homogéneas em termos de qualidade do ar, ocupação do solo e densidade populacional*”, enquanto que aglomeração define-se como sendo “*uma zona caracterizada por um número de habitantes superior a 250 000 ou em que a população seja igual ou fique aquém de tal número de habitantes, desde que não inferior a 50 000, sendo a densidade populacional superior a 500 hab.km⁻²*”.



3. A QUALIDADE DO AR EM LAMAS DE OLO

A qualidade do ar da zona Norte Interior (ver Figura 3.1.) tem apresentado com frequência níveis de ozono troposférico acima dos valores admitidos pela legislação. O potencial impacte na saúde, ecossistemas e bens materiais fundamenta o estudo das razões para tal ocorrência e o desenvolvimento e implementação de medidas adequadas para a redução da sua concentração no ambiente. Esta zona abrange o Alto Trás-os-Montes, o Douro, alguns concelhos do Minho-Lima (Monção, Melgaço, Arcos de Valdevez e Ponte da Barca), Cávado (Terras do Bouro), Ave (Vieira do Minho) e Tâmega (Cabeceiras de Basto, Ribeira de Pena, Mondim de Basto, Resende e Cinfães). Na Tabela 3.1 podem visualizar-se os dados demográficos da zona em estudo.

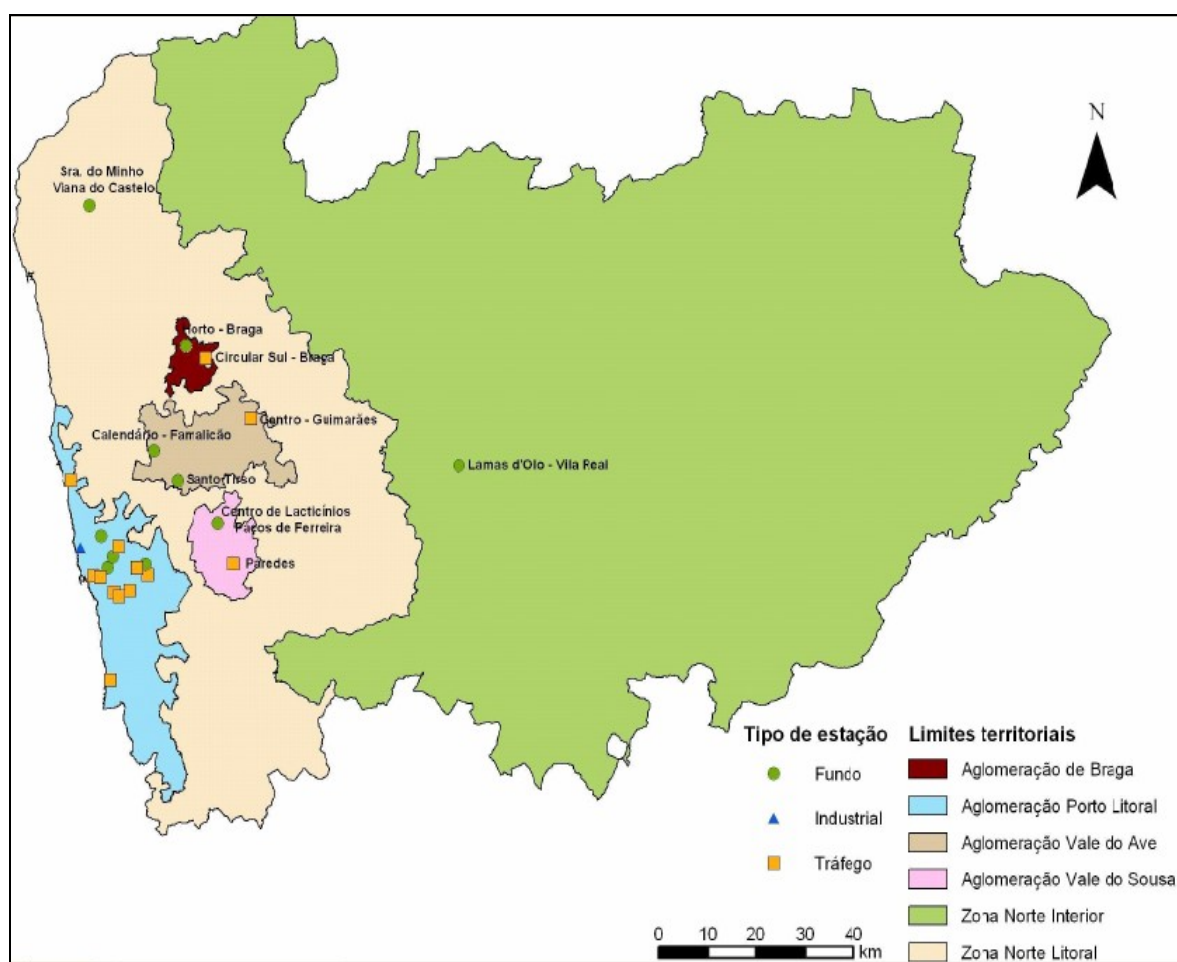


Figura 3.1. Representação das zonas e aglomerações da região Norte e localização das estações de monitorização (Fonte: URL 1, 2007).



Tabela 3.1. Dados demográficos da zona Norte Interior (Fonte: URL 2, 2007).

Designação da NUT III	Freguesias (2003)	População Residente (hab.)		Área total (km ²) (2004)	Densidade Populacional (hab.km ⁻²) (2004)
		Censos 1991	Censos 2001		
Alto Trás-os-Montes	397	235 241	223 333	8172,0	27,0
Douro	301	238 695	221 553	4108,0	52,8
Minho-Lima *	127	72 935	67 622	1079,2	62,3
Cavado *	17	9406	8350	277,5	28,7
Ave *	21	15 775	14 724	218,5	66,2
Tâmega *	64	71 554	68 625	994,1	67,2
TOTAL	927	643 606	604 207	14 849,3	40,7

* Apenas alguns dos concelhos que compõem a NUT III especificada.

A estação de monitorização da Zona Norte Interior encontra-se em Lamas de Olo (coordenadas WGS-84: latitude 41°22'15,59" N e longitude 7°47'16,76" W), aldeia do concelho de Vila Real, a uma altitude de 1086 metros. De acordo com o Censos 2001, Lamas de Olo apresenta uma área de 29,42 km² com cerca de 177 habitantes e uma densidade populacional de 6,0 habitantes.km⁻² (URL 4, 2007). Está inserida no Parque Natural do Alvão (área protegida) e assenta numa pequena mancha de solos xistosos, num extenso território onde predomina o granito e a vegetação de montanha. É uma aldeia sem industrialização e com muito pouco tráfego automóvel, onde a actividade predominante é a agricultura e a criação intensiva de gado (ver Figura 3.2). Encontra-se a cerca de 9 km de Vila Real, a 72 km do Porto (locais com maiores fontes de emissão mais próximos) e a cerca de 80 km da costa litoral. Segundo Borrego *et al*, (2005 a) e de acordo com estudos de Coutinho (1995), a esta distância do mar e tendo em conta as cadeias montanhosas que separam Lamas de Olo da costa, pode-se considerar que não sofre qualquer influência de brisas marítimas), uma vez que se localiza a mais de 50 km de distância da costa.

Em termos orográficos, destacam-se acidentes de elevada importância – as serras do Marão (cota 1415m) e do Alvão (cota 1283m). Relativamente ao clima, Lamas de Olo apresenta Invernos bastante prolongados com frio constante (chega a ter temperaturas negativas e é comum nevar no mínimo uma vez por ano) e Verões bastante quentes.



Figura 3.2. Aldeia de Lamas de Olo.

A estação de monitorização de qualidade do ar de Lamas de Olo (ver Figura 3.3) está em funcionamento desde 3 de Fevereiro de 2004, é do tipo rural de fundo (tipo de ambiente Rural Regional e tipo de influência de Fundo ¹), está integrada na Rede de Qualidade do Ar do Norte e é gerida pela CCDR-Norte. Está equipada com analisadores automáticos que permitem a monitorização contínua de poluentes: monóxido de azoto (NO), dióxido de azoto (NO₂), óxidos de azoto (NO_x), ozono (O₃), dióxido de enxofre (SO₂) e partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 10 µm e 2,5 µm (respectivamente, PM₁₀ e PM_{2,5}). Estes equipamentos têm a capacidade de calcular e armazenar as concentrações em médias de 15 minutos, sendo estes dados enviados através de uma linha telefónica para um computador na CCDR-Norte, utilizando um *software* específico. (Borrego *et al*, 2005 b).

¹ tipo de ambiente Rural Regional (*situada entre 10 a 50 km de grandes fontes poluentes, a mais de 100 m de fontes provenientes de aquecimentos domésticos em pequena escala, a mais de 100 m de vias pequenas onde circulam até 50 veículos por dia e a mais de 500 m de grandes vias onde circulam até 500 veículos por dia e a mais de 500*) e tipo de influência de Fundo (*pretende avaliar os efeitos a uma escala mais global, nomeadamente ao nível de efeitos na vegetação, população e ecossistemas*).



Figura 3.3. Estação de monitorização da qualidade do ar de Lamas de Olo.

O objectivo principal desta estação é monitorizar a qualidade do ar da zona Norte Interior, essencialmente a poluição regional de fundo resultante do transporte de poluentes a longa distância e as emissões da região. A estação efectua também medições dos parâmetros Temperatura, Humidade Relativa, Precipitação, Radiação Solar, Direcção e Velocidade do Vento. A análise conjunta das condições meteorológicas e dos registos da qualidade do ar facilitam a interpretação destes últimos, de modo a constituir orientações que visem a diminuição dos níveis de poluentes.



3.1 Monitorização em contínuo

Nesta secção é efectuada uma análise dos dados de qualidade do ar relativos ao ozono troposférico registados na estação de monitorização de Lamas de Olo para um período de três anos. Foram utilizados os dados de qualidade do ar de 3 de Fevereiro de 2004 (data de início de funcionamento da estação) a 31 de Dezembro de 2006 (dados validados mais recentes) e pretendia-se realizar a sua análise face à legislação em vigor, a sua evolução temporal e avaliar a existência de padrões temporais relativamente à ocorrência de excedências aos valores estipulados. Foi também efectuada a interpretação dos dados, tendo em conta os parâmetros meteorológicos recolhidos na própria estação e igualmente calculadas as correlações existentes entre as séries de concentrações medidas de ozono e de óxidos de azoto.

3.1.1 Análise dos dados face à legislação

Dado a estação referida ser do tipo rural de fundo, a análise a efectuar deve abranger a comparação dos dados de qualidade do ar com os parâmetros limiares de informação e de alerta à população, protecção da saúde, protecção da vegetação, protecção das florestas e protecção dos materiais (ver Tabela 2.4).

No Anexo I encontram-se os parâmetros estatísticos relativos aos dados apresentados, enquanto que no Anexo II se apresenta, com maior detalhe, informação sobre as excedências registadas, nomeadamente dias, períodos horários e concentrações de ozono.

- Limiares de informação e de alerta à população

Foram registadas 75 horas de excedências ao limiar de informação ao público (das quais 8 horas são excedências ao limiar de alerta) em 2004, 404 horas (das quais 97 horas de excedências ao limiar de alerta) em 2005 e 94 horas (das quais 8 horas de excedências ao limiar de alerta) em 2006 (ver Tabela 3.2).



Tabela 3.2 Excedências aos limiares de informação e alerta à população no período de funcionamento da estação de Lamas de Olo (base horária).

	Excedências ao limiar de informação à população (h)			Excedências ao limiar de alerta à população (h)		
	2004	2005	2006	2004	2005	2006
Janeiro	N.A. ⁽¹⁾	0	0	N.A. ⁽¹⁾	0	0
Fevereiro	0	0	0	0	0	0
Março	0	0	0	0	0	0
Abril	0	5	2	0	0	0
Maio	0	30	3	0	3	0
Junho	10	71	24	2	24	0
Julho	29	119	17	4	33	4
Agosto	11	104	25	0	32	1
Setembro	18	52	23	0	3	3
Outubro	7	23	0	2	2	0
Novembro	0	0	0	0	0	0
Dezembro	0	0	0	0	0	0
	75	404	94	8	97	8

⁽¹⁾ Não aplicável uma vez que a estação ainda não estava em funcionamento

Pela análise da tabela comprova-se que os episódios fotoquímicos ocorrem no período de Verão (quando as temperaturas são mais elevadas o que facilita a formação do ozono devido ao aumento de horas de insolação), especialmente entre Abril e Outubro (estes episódios são registados cada vez mais cedo no ano: enquanto em 2004 começaram a ser registados em Junho, em 2005 e 2006 terá sido em Abril). Destes três anos de funcionamento da estação, 2005 foi o ano em que se verificou uma maior quantidade de episódios. Relativamente aos episódios mais graves, analise-se a Figura 3.4, onde se representam os máximos horários de ozono em cada mês de cada ano em análise.

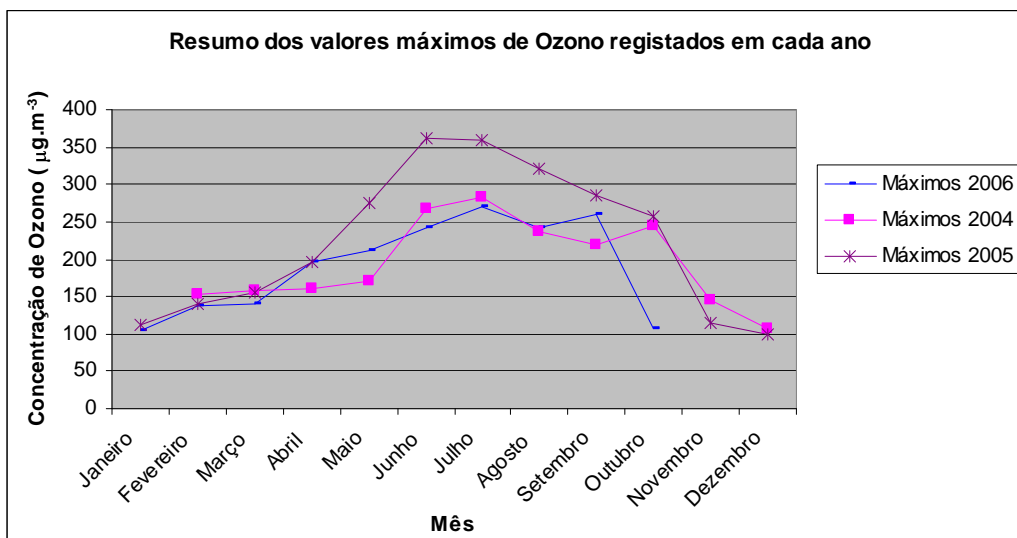


Figura 3.4. Resumo dos máximos horários de ozono em cada ano registados na estação de monitorização de Lamas de Olo.

Pela análise da figura, é possível constatar que foi em 2005 que se registaram os episódios mais graves de poluição fotoquímica. A concentração de ozono mais elevada foi 361 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (22 de Junho de 2005 às 19 horas).

Pela análise dos dados, registou-se ainda que os picos de concentração não ocorrem apenas durante uma determinada hora do dia mas permanecem por um período de tempo mais longo (ver Anexo II).

Quanto aos valores mínimos mais baixos, são medidos também nos meses de Verão, tendo ocorrido o valor mais baixo em 15 de Agosto de 2004 às 21 horas (30 $\mu\text{g.m}^{-3}$) (ver Figura 3.5).

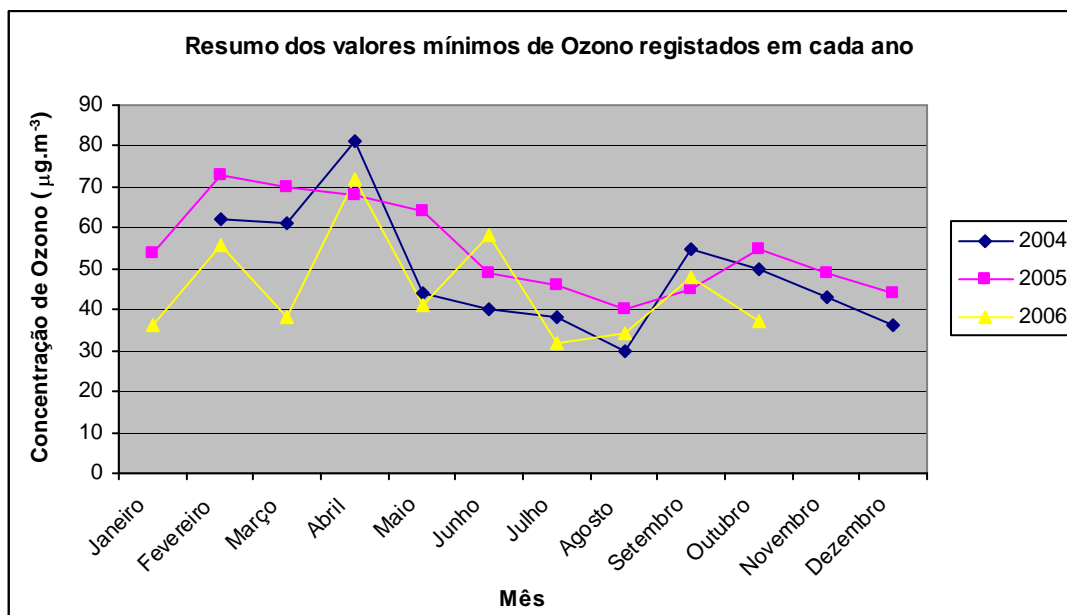


Figura 3.5. Resumo dos mínimos de ozono em cada ano registados na estação de monitorização de Lamas de Olo.

- Protecção da saúde humana

Pela análise das médias móveis octo-horárias é possível concluir que o valor guia estabelecido pela legislação em vigor para a protecção à saúde humana ($120 \mu\text{g.m}^{-3}$) foi excedido várias vezes ao longo do período de funcionamento da estação. Na Tabela 3.3 apresenta-se um resumo do número de excedências registadas nos últimos três anos.

Tabela 3.3. Resumo das excedências registadas ao valor alvo de protecção da saúde humana, na estação de Lamas de Olo.

	2004	2005	2006
Número de excedências registadas	105	166	103

- Protecção da vegetação

De modo a avaliar o impacto dos níveis de ozono troposférico sobre a vegetação, foi efectuado o cálculo do AOT40 (ver Tabela 2.4) e comparou-se o valor obtido com o valor guia estabelecido para a protecção da vegetação: $6\,000 \mu\text{g.m}^{-3}\text{h}^{-1}$. Dada a indisponibilidade total dos dados foi necessário ter alguns cuidados nesta análise que se encontram descritos no Anexo I. Apresenta-se na Tabela 3.4 um resumo das excedências registadas ao valor alvo de protecção da vegetação.



Tabela 3.4. Resumo das excedências registadas ao valor alvo de protecção da vegetação, na estação de Lamas de Olo.

	AOT40 estimado ($\mu\text{g.m}^{-3}\text{h}^{-1}$)	Eficiência (%)	Dados validados
2004	37 582	79,0	945
2005	68 862	96,4	1153
2006	46 202	92,5	1106

Pela análise da tabela, é possível concluir que o valor guia para a protecção da vegetação foi excedido substancialmente. No entanto, uma vez que pela legislação em vigor se exige que a eficiência seja superior a 90%, podem-se invalidar os valores resultantes de 2004.

- Protecção da floresta

De forma a avaliar o efeito do ozono sobre a floresta realizou-se o cálculo do AOT40 de acordo com o descrito na legislação para o estudo relativo à protecção da floresta (ver Tabela 2.4). Na Tabela 3.5 encontra-se um resumo do número de excedências registadas ao valor alvo de protecção da floresta.

Tabela 3.5. Resumo das excedências registadas ao valor alvo de protecção da floresta, na estação de Lamas de Olo.

	AOT40 estimado ($\mu\text{g.m}^{-3}\text{h}^{-1}$)	Eficiência (%)	Dados validados
2004	72 750	76,7	1825
2005	128 376	96,3	2 291
2006	94 966	94,6	2 250

Analisando a tabela, verifica-se que os dados obtidos estão todos muito acima do valor mínimo previsto pela lei para a protecção das florestas ($20\,000\ \mu\text{g.m}^{-3}\text{h}^{-1}$). Invalidam-se novamente os dados de 2004 uma vez que apresentam uma eficiência inferior a 90%.

- Protecção dos materiais

De acordo com a legislação em vigor, para efectuar esta análise é necessário o cálculo da média anual, e é requerida uma percentagem de 75% de dados válidos do período Janeiro a Março, Abril a Setembro, e Outubro a Dezembro, considerados separadamente. Na Tabela 3.6 apresenta-se o resultado desse cálculo.



Tabela 3.6. Resumo das excedências registadas ao valor alvo de protecção dos materiais, na estação de Lamas de Olo.

	Média anual de ozono ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Eficiência Janeiro-Março (%)	Eficiência Abril-Setembro (%)	Eficiência Outubro-Dezembro (%)
2004	100,8	62,9*	76,5	99,6
2005	110,1	99,7	96,0	99,2
2006	94,8	94,4	93,3	82,0

* A estação só iniciou medições em 3 de Fevereiro às 16h daí que este valor não representa toda a época Janeiro-Março. A eficiência desde o início do funcionamento da estação até 31 de Março seria 99,8%.

Como se pode comprovar pela Tabela 3.6, os dados obtidos estão todos muito acima do valor mínimo previsto pela lei para a protecção dos materiais ($40 \mu\text{g.m}^{-3}$). Os dados referentes ao período de Janeiro a Março não são considerados representativos, dado apresentarem uma eficiência inferior a 75%.



3.1.2 Distribuição diária, mensal e sazonal dos dados

Nesta secção pretende-se realizar a análise da distribuição dos dados de ozono no tempo: ao longo do dia, ao longo do mês e de acordo com as estações do ano.

- Tendências diárias e mensais

As Figuras 3.6 a 3.8 ilustram a tendência dos níveis de ozono ao longo do dia e dos meses do ano.

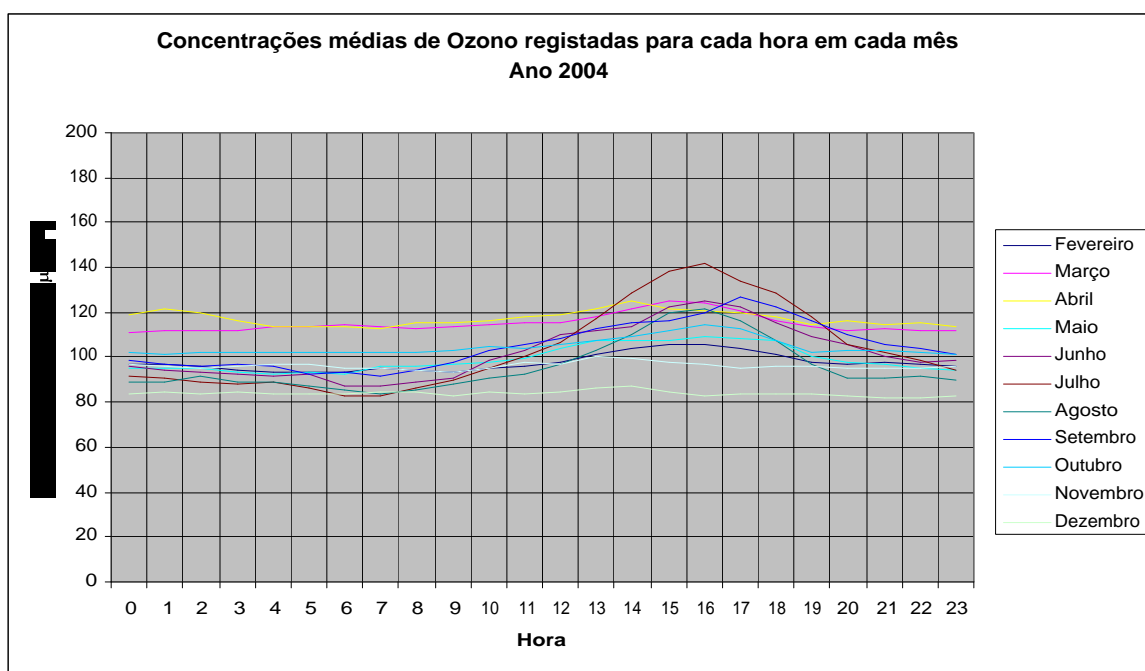


Figura 3.6. Concentrações médias horárias de ozono registadas para cada hora em cada mês do ano de 2004.

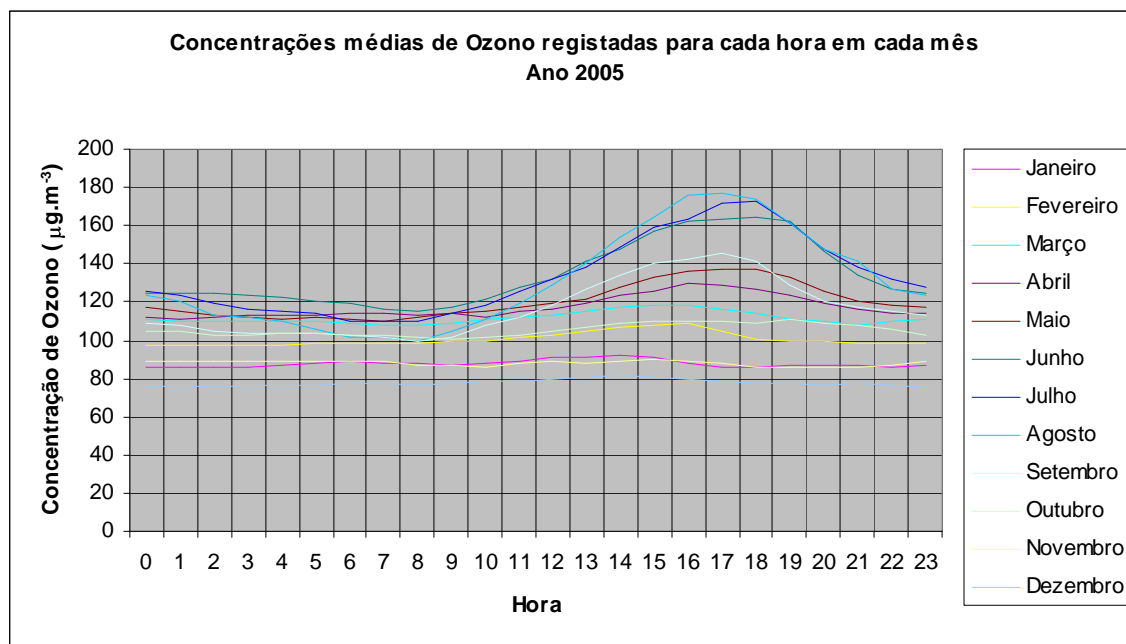


Figura 3.7. Concentrações médias horárias de ozono registradas para cada hora em cada mês do ano de 2005.

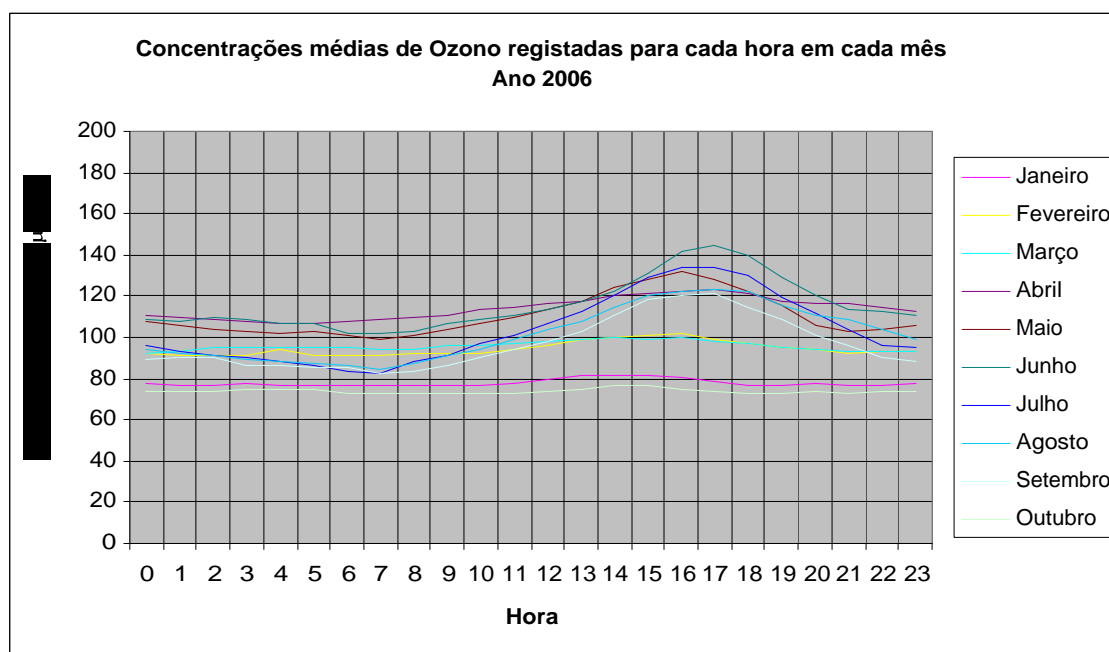


Figura 3.8. Concentrações médias horárias de ozono registradas para cada hora em cada mês do ano de 2006.

Pela análise das Figuras 3.6 a 3.8, constata-se que os níveis de ozono ao nível do solo variam ao longo do dia, independentemente do mês analisado – ocorre devido ao complexo equilíbrio que se estabelece entre as emissões de precursores, a produção de ozono e os potenciais processos de eliminação deste poluente. Nesta análise, deve-se ter em consideração que se estão a ponderar



níveis médios de ozono, e que Agosto é o mês em que se registam valores com maior amplitude, isto é, ocorrem os máximos mais elevados e os mínimos mais baixos (visível nas Figuras 3.4 e 3.5).

Verifica-se ainda que os valores máximos diários ocorrem entre as 14 e as 18 horas, enquanto que os mínimos registam-se de madrugada e manhã, independentemente do mês e do ano. Comparando este facto com o estudo realizado para 2004 na região Norte por Borrego *et al* (2005 b), verifica-se que o pico de concentração ocorre com um atraso de cerca de 2 horas em relação às restantes estações de monitorização da qualidade do ar na região Norte, ou seja, existe um ligeiro atraso temporal nos picos de concentração de ozono nesta estação, uma vez que estes se registam com maior frequência no período de maior insolação (geralmente entre as 11 e as 16 horas). Pode-se daqui pressupor que os níveis de ozono registados podem ser ocasionados pelo transporte de poluentes primários de outros locais, ou então, uma vez que a estação está a cerca de 1000 m de altitude, podem decorrer de possíveis intrusões de ozono estratosférico.

De seguida, faz-se a análise dos valores máximos de excedências e a frequência de ocorrência de excedências, para cada hora e cada ano (ver Figuras 3.9 e 3.10).

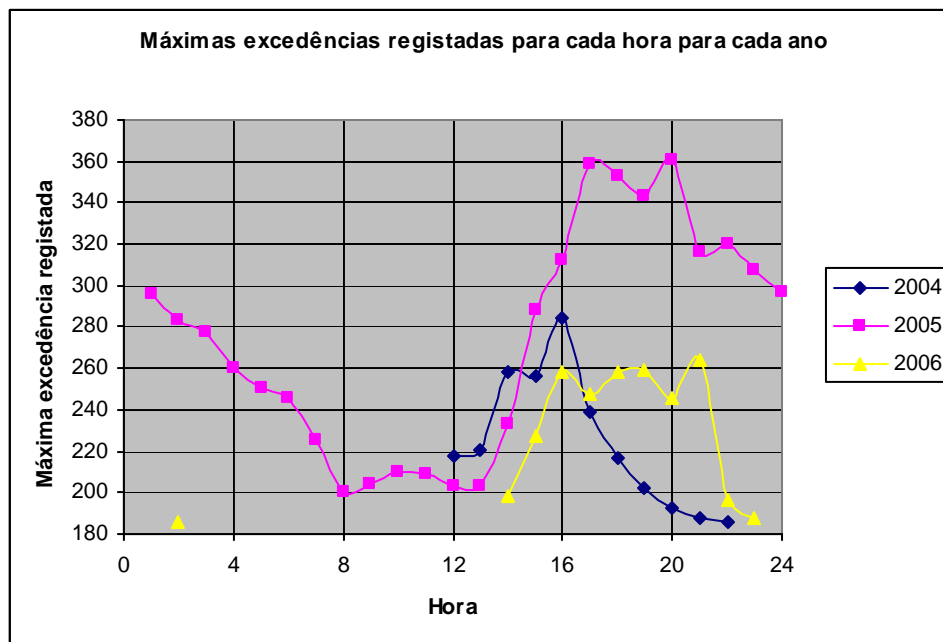


Figura 3.9. Máximas excedências horárias ao limiar de informação registadas para cada hora para cada ano.

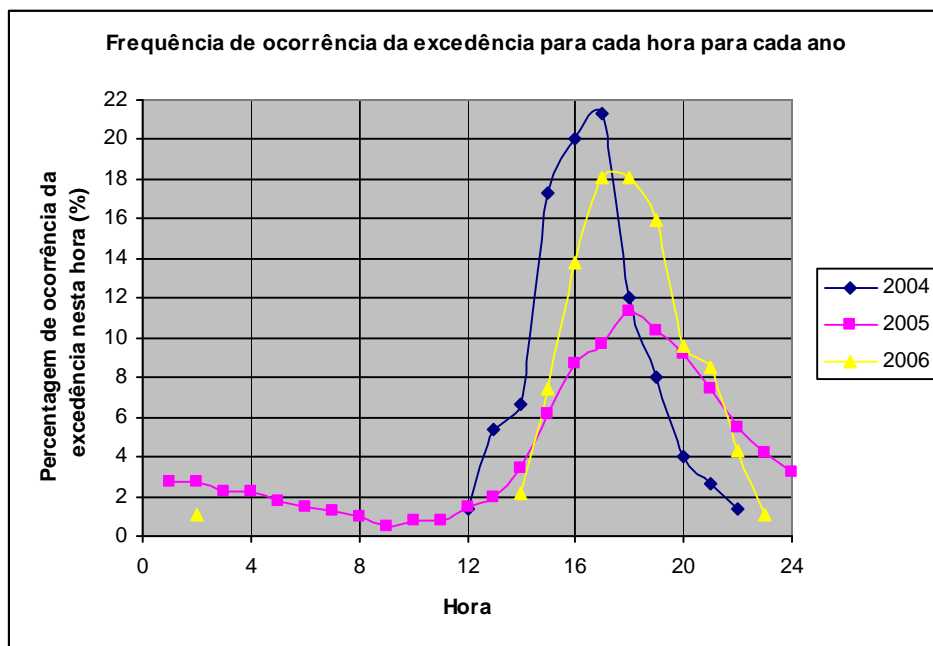


Figura 3.10. Frequência de ocorrência de excedências ao limiar de informação, para cada hora para cada ano.

Constata-se pela análise das figuras acima apresentadas, que os máximos mais elevados registados ao longo do período de funcionamento da estação ocorreram com maior frequência de ocorrência de excedência por volta das 17-18 horas. Porém, o ano de 2005 foi o que apresentou maior frequência de ocorrência de excedências ao longo de todas as horas do dia.

Seria ainda de esperar que as excedências ocorressem apenas durante os períodos de maior insolação, porém, nem sempre é o que ocorre: apesar da frequência de ocorrência de excedência durante a noite ser baixa, têm-se registado vários períodos de excedências durante a noite (considerado das 20 até às 7 horas) (ver Figuras 3.9 e 3.10, e Tabela II.4 do Anexo II). As principais razões para tal ocorrência poderão ser o facto das fontes de emissão de precursores do ozono se encontrarem a longa distância e ocorrer a sua produção noutros locais e durante o dia ser transportado até Lamas de Olo, através de circulações de mesoscala ou sinópticas, ou então uma possível intrusão de massas de ar ricas em ozono estratosférico (factores já referidos anteriormente).



- Tendências sazonais

Além de variações diurnas e mensais de concentração existem também variações sazonais, facto explicado pelo clima associado a cada estação do ano que influencia a dispersão e o transporte dos poluentes. Na Figura 3.11 apresentam-se as concentrações médias horárias de ozono por estação do ano e hora do dia.

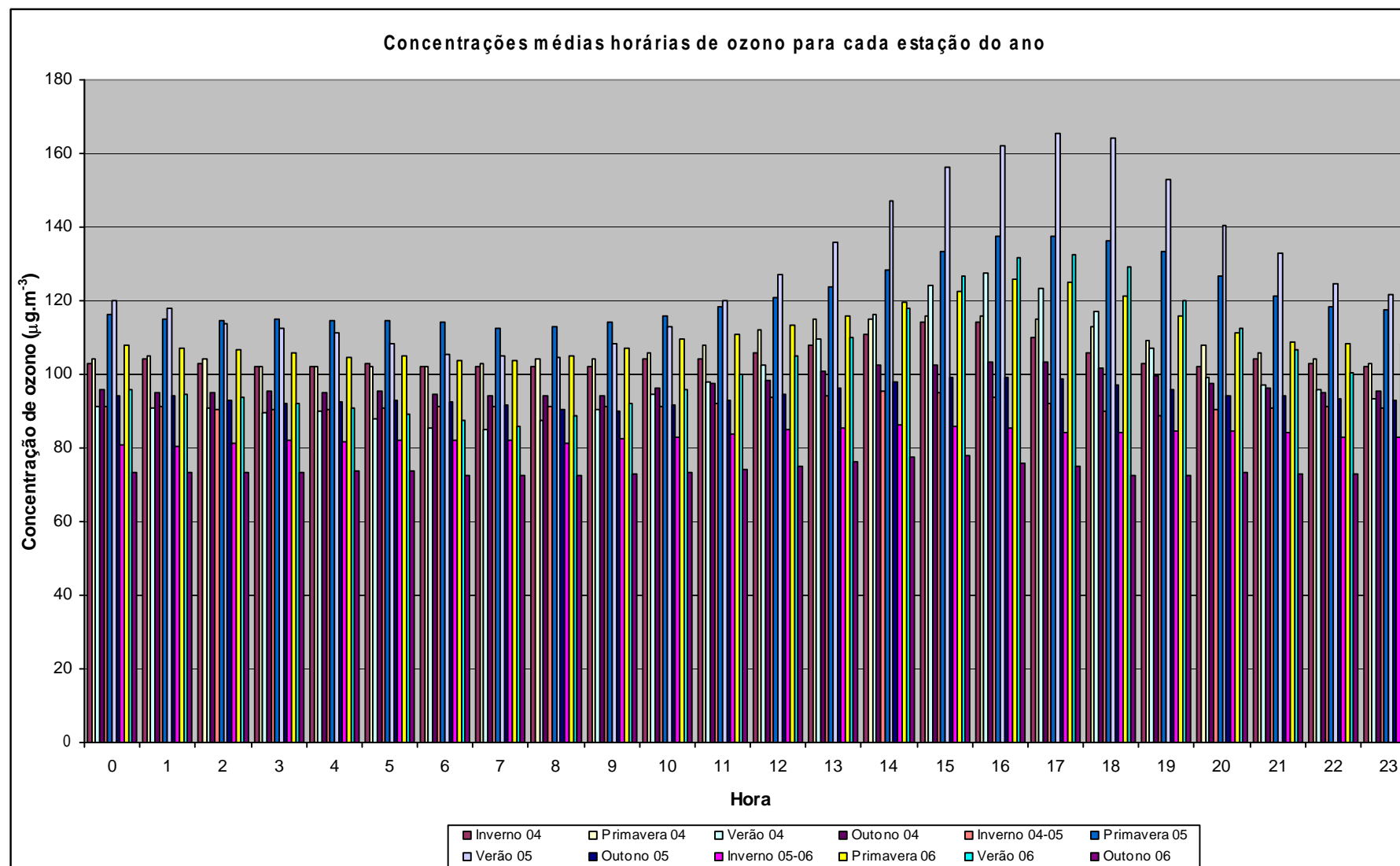


Figura 3.11. Concentrações médias horárias de ozono por estação do ano.



Observando a Figura 3.11, verifica-se que os picos ocorrem nas estações de maior calor, tendo-se registado os valores mais elevados na Primavera e Verão de 2005. Os valores mais baixos ocorrem no Outono e Inverno, tendo-se constatado que o Outono de 2006 foi o que apresentou níveis mais baixos de ozono. Pode-se ainda confirmar que, independentemente da estação do ano, os picos de ozono registam-se em períodos de maior exposição solar diária, ou seja, ao longo da tarde (facto já referido anteriormente).

3.1.3 Análise de acordo com os dados meteorológicos

Dada a importância dos aspectos meteorológicos na evolução das concentrações de poluentes na camada limite atmosférica, o cruzamento da informação meteorológica com os registos de ozono é de interesse crucial. Apresenta-se nesta secção a análise dos parâmetros meteorológicos conjugados com os níveis de ozono registados na estação de monitorização. Os parâmetros estatísticos relativos a estes dados, nomeadamente a média, o máximo, o mínimo, a quantidade de dados analisados (só dados validados) bem como a eficiência, encontram-se no Anexo I.

- Temperatura do ar ambiente

A temperatura do ar ambiente é um parâmetro meteorológico que influencia a produção de poluição fotoquímica uma vez que activa a reacção de dissociação do dióxido de azoto. Na Tabela 3.7 apresentam-se as médias anuais em que ocorreram excedências aos limiares de informação bem como a temperatura anual registada na estação e a correlação entre a temperatura e os níveis de ozono (valores de excedências).

Tabela 3.7. Temperaturas anuais em que ocorreram excedências aos limiares de informação da população.

	Temperatura em que ocorreram excedências			Temperatura média anual (°C)	Correlação (r^2)
	T _{min} (°C)	T _{max} (°C)	T _{med} (°C)		
2004	16,5	29,6	23,1	12,0	0,084
2005	16,2	31,4	23,2	12,2	0,022
2006	14,3	29,2	23,0	12,2	0,045

Nas Figuras 3.12 a 3.14 apresenta-se a relação entre os níveis de ozono e a temperatura.

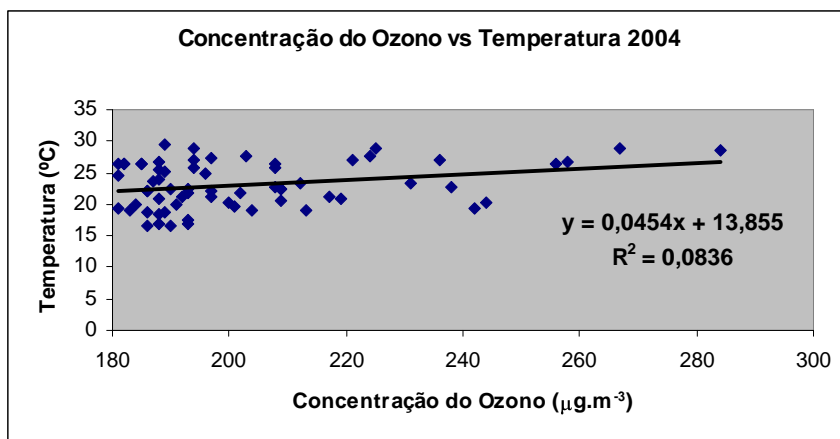


Figura 3.12. Relação entre as excedências dos níveis de ozono e a temperatura para o ano 2004.

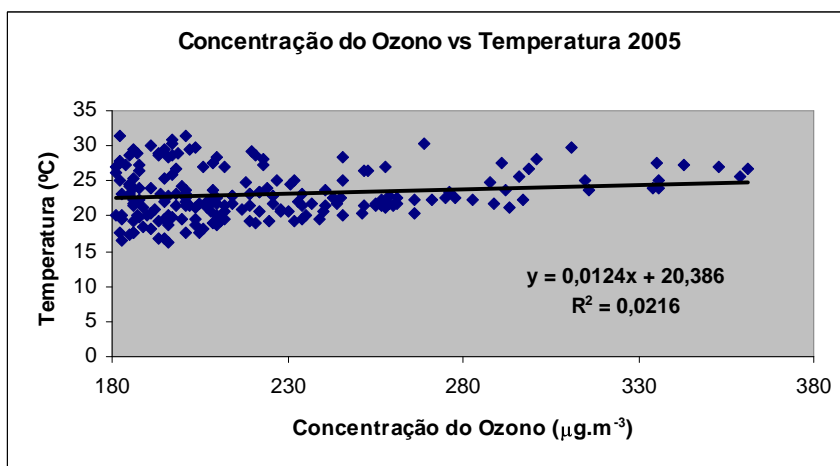


Figura 3.13. Relação entre as excedências dos níveis de ozono e a temperatura para o ano 2005.

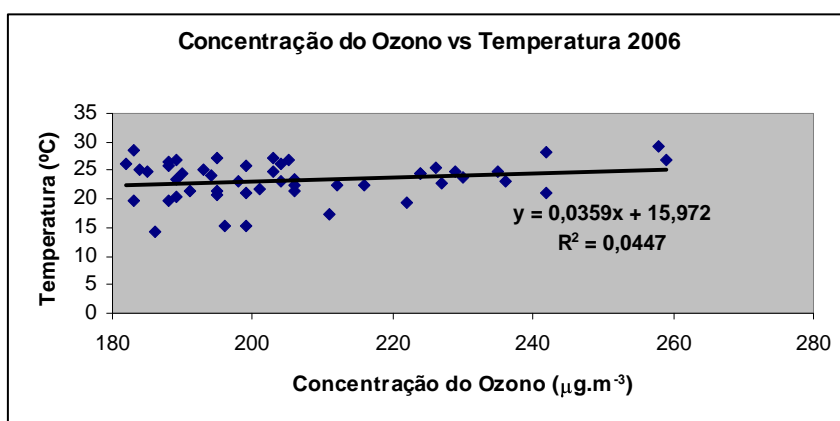


Figura 3.14. Relação entre as excedências dos níveis de ozono e a temperatura para o ano 2006.



Analisando as Figuras 3.12 a 3.14, pode-se verificar uma tendência de aumento dos níveis de ozono com a temperatura. No entanto, a relação entre temperatura e excedências de ozono apresenta correlações baixas comparando com as correlações dos níveis de ozono com a temperatura (0,3129 em 2004, 0,5088 em 2005 e 0,1739 em 2006).

- Radiação Solar

A intensidade da radiação solar recebida na superfície terrestre é muito variável, tanto em grandeza como em qualidade, devido essencialmente à transmissividade não uniforme e à variação da nebulosidade. Gera assim um aquecimento desigual da atmosfera e da superfície terrestre originando a circulação geral da atmosfera (Silva, 2003). Este é um dos parâmetros essenciais na formação de poluição fotoquímica e para tal é essencial o seu estudo neste trabalho. Apresentam-se na Tabela 3.8 os níveis médios de radiação solar em que ocorreram excedências dos níveis de ozono ao limiar de informação da população.

Tabela 3.8. Níveis de radiação solar anuais em que ocorreram excedências ao limiar de informação da população.

	Radiação Solar em que ocorreram excedências			Radiação Solar média anual (W.m ⁻²)	Correlação (r ²)
	R _{solar min} (W.m ⁻²)	R _{solar max} (W.m ⁻²)	R _{solar med} (W.m ⁻²)		
2004	2,5	955,5	451,0	168,9	0,109
2005	2,4	945,0	389,3	219,7	0,023
2006	2,5	973,8	349,4	193,8	0,003

Relativamente a este parâmetro, pela análise da Tabela 3.8, verifica-se que as excedências ao limiar de informação da população ocorrem na presença de níveis de radiação solar geralmente superiores à média anual. As correlações apresentadas são baixas, no entanto equiparadas à verificada para o parâmetro temperatura.

- Velocidade e Direcção do Vento

Em estudos de dispersão de poluentes é essencial conhecer as características do regime de vento, uma vez que representa os movimentos atmosféricos e é o responsável pelo transporte dos



poluentes. As condições de dispersão dos poluentes na atmosfera são afectadas pela velocidade e variação da direcção do vento, uma vez que afectam a taxa de diluição dos poluentes na atmosfera. Considera-se que quanto maior a velocidade e mais variar a direcção, maior é a dispersão dos poluentes. Examinando estes factos conclui-se que os parâmetros velocidade e direcção do vento são essenciais na caracterização do escoamento atmosférico e devem ser analisados neste trabalho. Sendo assim, analisam-se agora as condições médias do vento em que ocorreram excedências ao limiar de informação da população (ver Tabela 3.9).

Tabela 3.9. Condições de vento em que ocorreram excedências ao limiar de informação da população.

	Velocidade do Vento em que ocorreram excedências			Média anual da Velocidade do Vento (m.s ⁻¹)
	VV _{min} (m.s ⁻¹)	VV _{max} (m.s ⁻¹)	VV _{med} (m.s ⁻¹)	
2004	1,4	8,5	5,3	5,4
2005	1,1	10,3	4,7	5,1
2006	0,9	8,6	5,1	5,5

Relativamente à direcção do vento, realizou-se um estudo das rosas de poluição.

Uma rosa de poluição representa a variação das concentrações dum poluente com a direcção de onde o vento sopra. Para que se possa obter conclusões fiáveis é necessário adquirir uma grande quantidade de dados, geralmente meses. Parâmetros estatísticos como a média são calculados e tabulados em função das classes de direcção do vento. Uma característica deste meio de trabalho é inferir a proveniência das emissões que contribuem para o aumento das concentrações dos poluentes.

Nas Figuras 3.15 a 3.21 estão ilustradas rosas de poluição para diversas situações, nomeadamente, rosas de poluição anuais, mensais e sazonais para o período de funcionamento da estação de monitorização da qualidade do ar de Lamas de Olo.



Rosas de Poluição Anuais

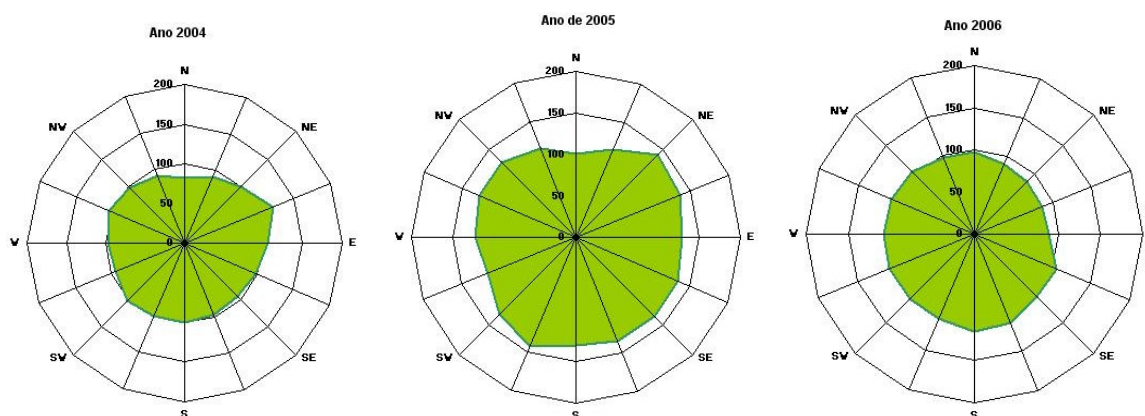
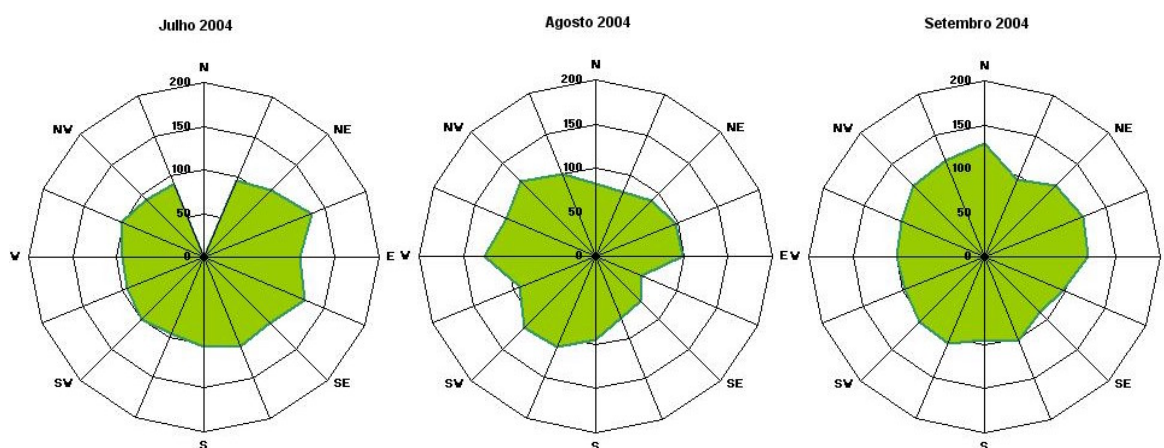


Figura 3.15. Rosas de Poluição da estação de Lamas de Olo para os anos 2004, 2005 e 2006 ($\mu\text{g.m}^{-3}$).

Comparando as rosas de poluição anuais, verificamos novamente que o ano de 2005 foi o que apresentou níveis de ozono mais elevados. Quanto às direcções do vento predominantes pode-se constatar que em nenhum dos casos existe uma maior frequência para nenhum dos quadrantes. A não ser NEE para o ano de 2004, NE a SWW para o ano de 2005 e SEE a NWW em 2006 (sempre no sentido horário dos ponteiros dos relógios).

Rosas de Poluição Mensais para cada ano



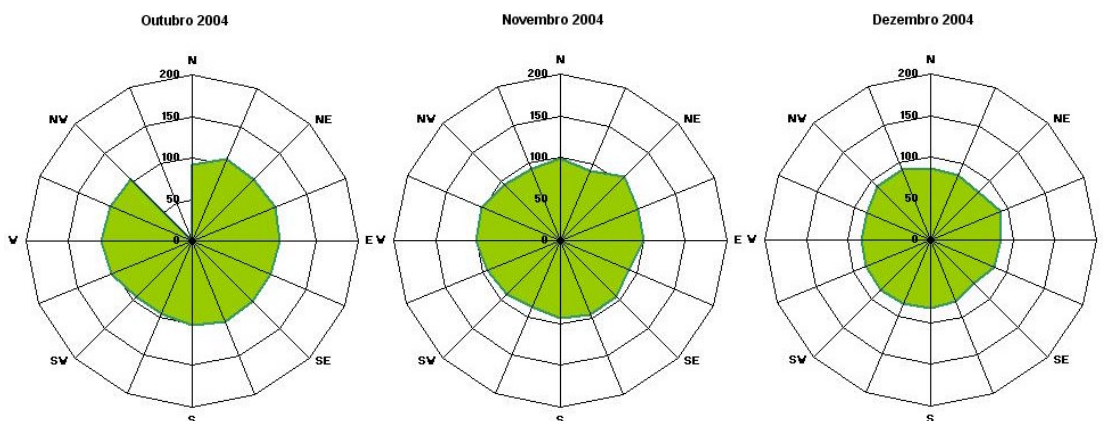
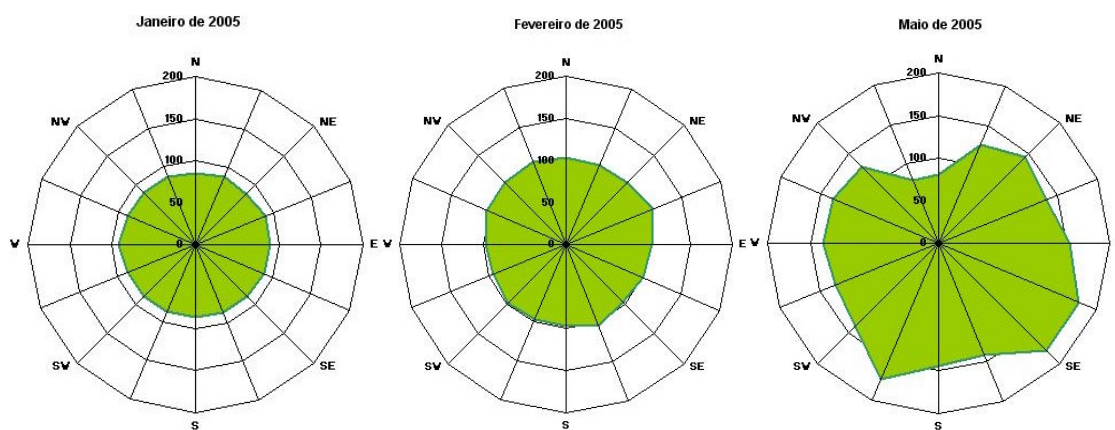


Figura 3.16. Rosas de Poluição mensais da estação de Lamas de Olo para o ano de 2004 ($\mu\text{g.m}^{-3}$).

Comparando as rosas de poluição para cada mês do ano 2004 em que se tem dados meteorológicos em simultâneo com dados de qualidade do ar, podemos verificar que as direcções do vento variam consoante o mês. Em alguns meses não se regista qualquer predominância para um dos quadrantes (por exemplo, para Julho não houve qualquer direcção do vento proveniente de NWW a NEE, enquanto que para Outubro não houve qualquer vento proveniente de NW a N). Pode-se concluir que em Julho os ventos dominantes ocorriam de NEE, em Agosto de W, em Setembro predominaram ventos de N, em Outubro, Novembro e Dezembro o vento não predominou de nenhuma direcção específica.



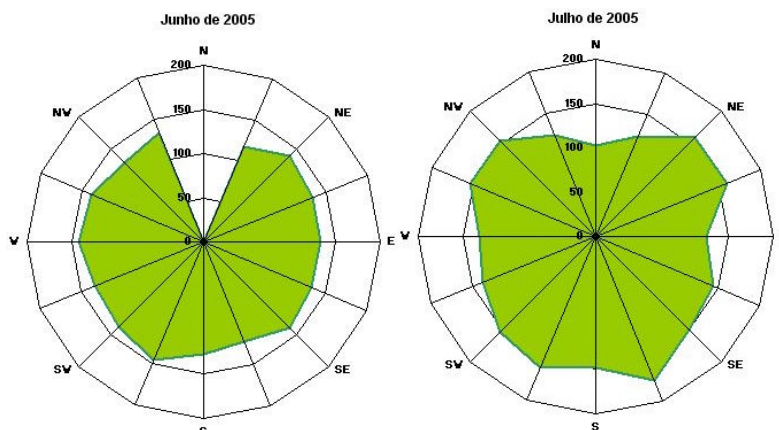
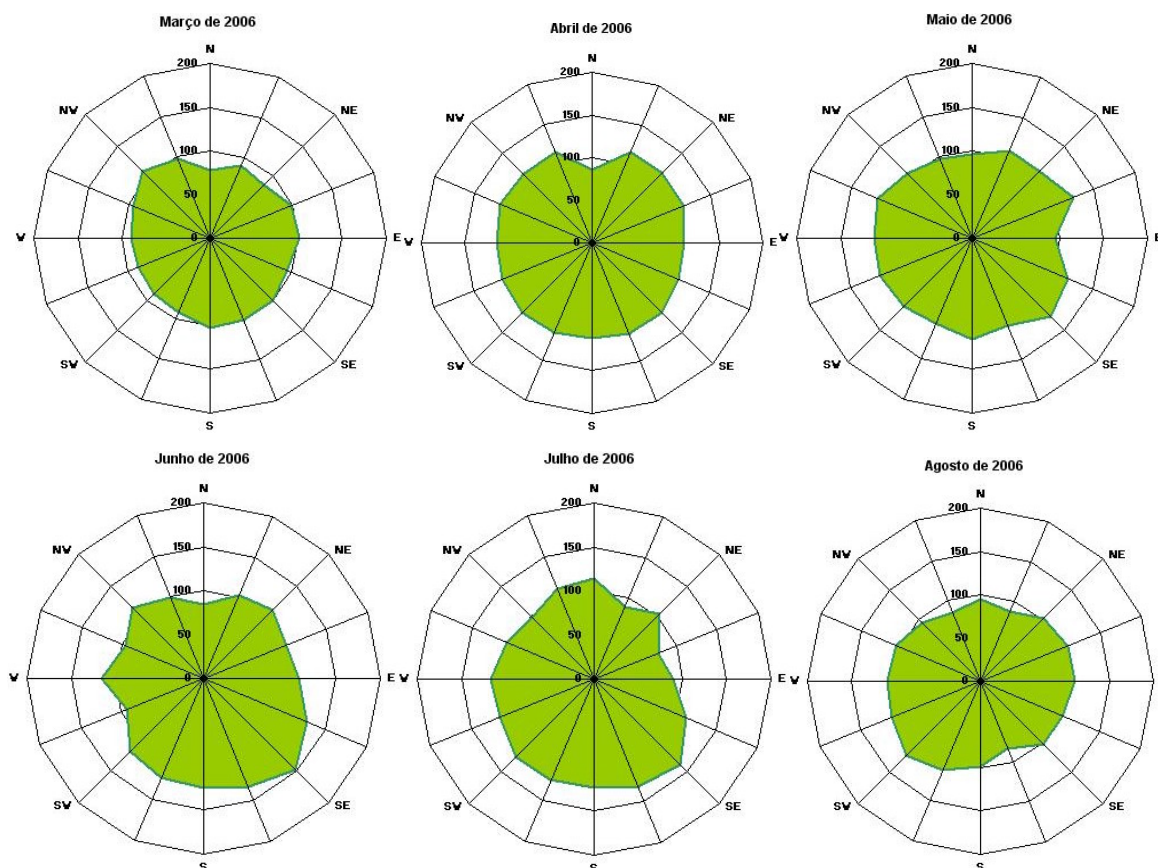


Figura 3.17. Rosas de Poluição mensais da estação de Lamas de Olo para o ano de 2005 ($\mu\text{g.m}^{-3}$).

Comparando os meses do ano 2005 verifica-se que os valores mais elevados registaram-se em Maio e Julho. Regista-se ainda que nos meses de Janeiro e de Fevereiro não houve qualquer predominância na direcção dos ventos. Em Maio os níveis mais elevados de ozono ocorreram com ventos dominantes de SEE, em Junho com ventos de SSW e em Julho com ventos de SSE.



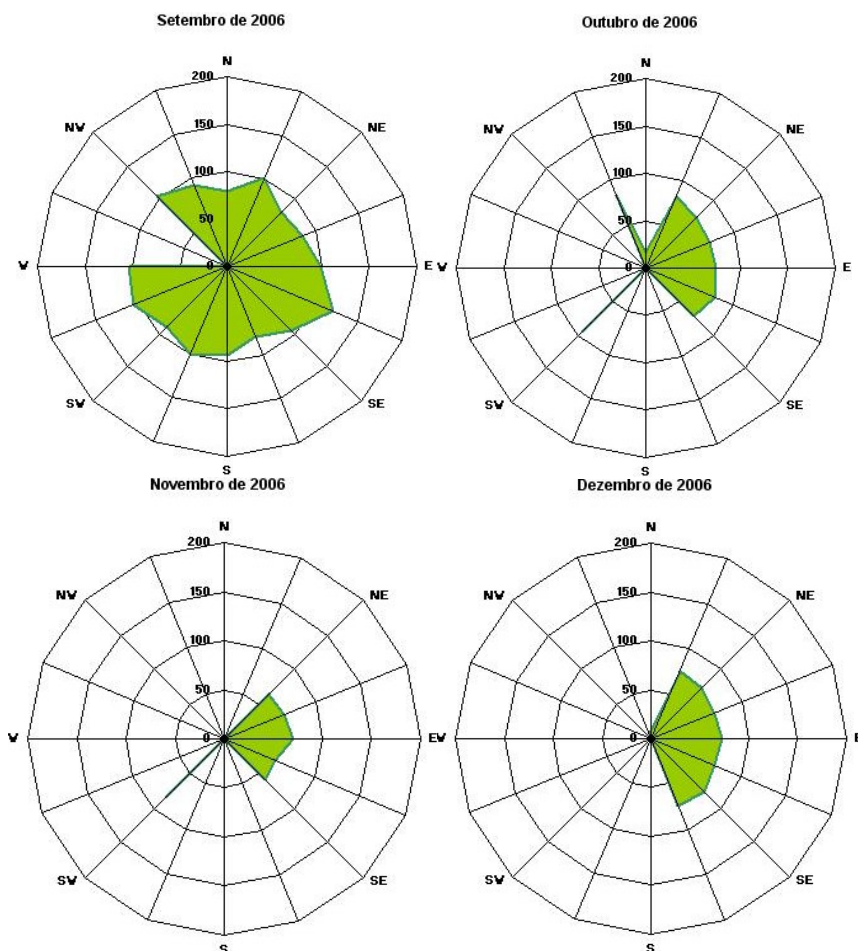


Figura 3.18. Rosas de Poluição mensais da estação de Lamas de Olo para o ano de 2006 ($\mu\text{g.m}^{-3}$).

Comparando os meses do ano 2006 verifica-se que os valores mais elevados registaram-se em Maio, Junho e Julho. Regista-se ainda que nos meses de Outubro, Novembro e Dezembro houve predominância de ventos de E, tendo ocorrido valores baixos de ozono. Em Maio, Junho e Julho os níveis mais elevados de ozono ocorreram com ventos dominantes de SE.



Rosas de Poluição Sazonais para cada ano

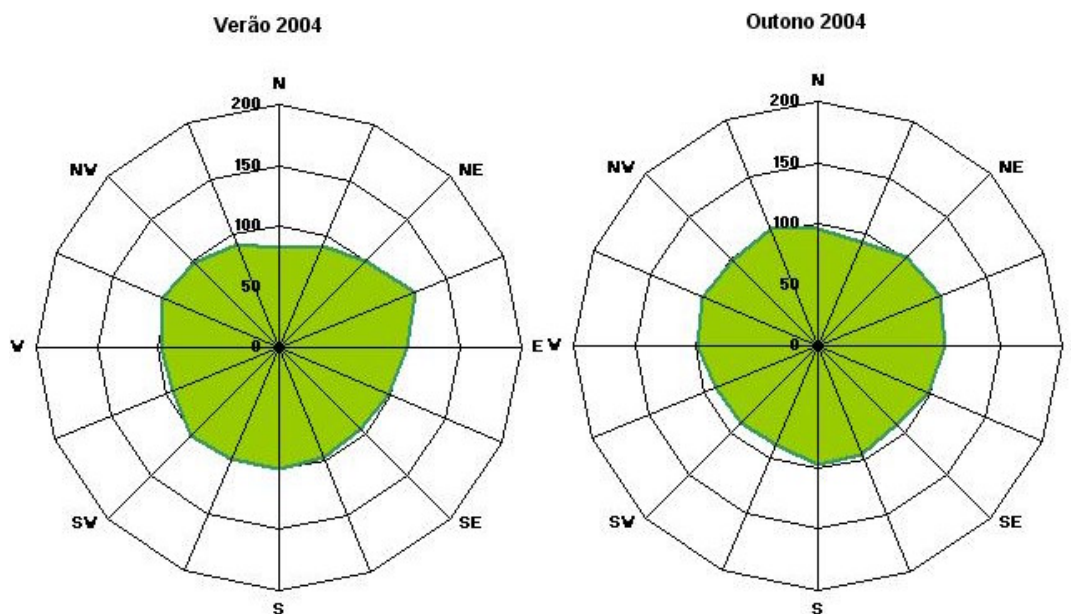


Figura 3.19. Rosas de Poluição sazonais da estação de Lamas de Olo para o ano de 2004 ($\mu\text{g.m}^{-3}$).

Para o ano 2004, não existe grande diferença da predominância dos ventos em ambos os casos possíveis de analisar: Verão e Outono.

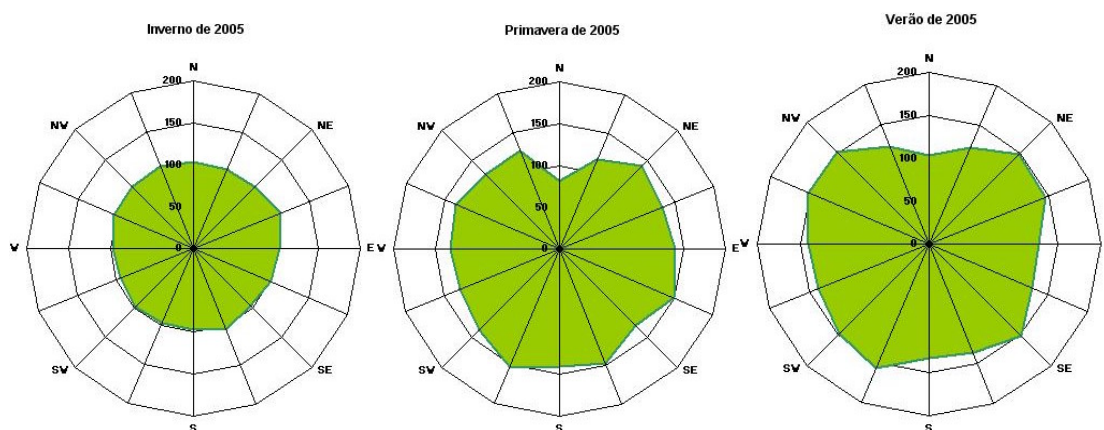


Figura 3.20. Rosas de Poluição sazonais da estação de Lamas de Olo para o ano de 2005 ($\mu\text{g.m}^{-3}$).

No ano 2005, os níveis médios de ozono foram mais elevados no Verão e na Primavera. No Inverno os níveis mais elevados de ozono ocorreram com ventos predominantes de NEE, na Primavera com ventos predominantes de SSW, SSE e ESE, enquanto que no Verão ocorreram com ventos dominantes de SE, SSW e também de WNW.

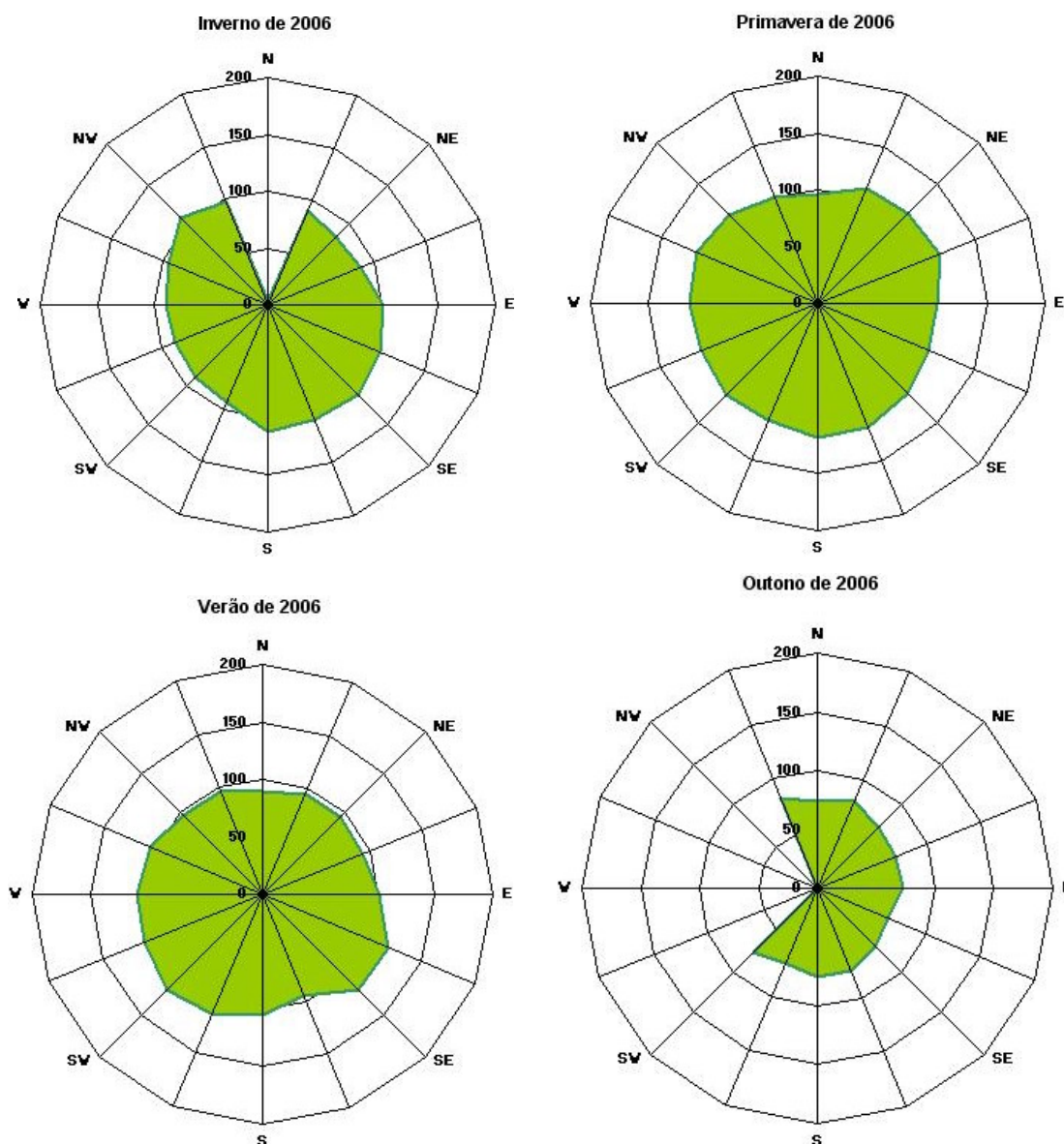


Figura 3.21. Rosas de Poluição sazonais da estação de Lamas de Olo para o ano de 2006 ($\mu\text{g.m}^{-3}$).

Para o ano de 2006, o Verão e a Primavera foram as estações do ano onde se registaram níveis médios de ozono mais elevados. Relativamente à predominância dos ventos em relação aos níveis de ozono, pode-se verificar que no Inverno os níveis médios de ozono foram mais elevados para ventos predominantes de SE a S existindo também um pico no quadrante NW. Na Primavera os níveis de ozono mais elevados não são consequência de nenhum quadrante específico, existindo níveis semelhantes de ozono de qualquer quadrante. No Verão predominam os ventos de ESE a



SW enquanto que no Outono os níveis de ozono mais elevados provêm de ventos de quadrante NNW a SW.

- Precipitação

Analisando a evolução da precipitação a par dos níveis de ozono no ar ambiente registou-se que o seu aumento não faz diminuir os níveis de ozono, porém os episódios fotoquímicos apenas ocorrem quando não há ocorrência de precipitação. Isto pode dever-se ao facto de que quando chove a atmosfera arrefece (diminui a actividade fotoquímica), ou então devido à eliminação dos poluentes da atmosfera por parte das águas da chuva, levando à sua deposição para o solo (deixa de haver a presença de poluentes precursores do ozono).

3.1.4 Análise do tipo de correlação existente entre o ozono e seus precursores

O ozono pode apresentar padrões evolutivos acompanhando as flutuações climáticas mas também o padrão de emissão dos seus precursores. Daí a razão para a existência desta secção, na qual se pretende estudar a correlação existente entre as concentrações dos precursores do ozono e o próprio ozono. No entanto, como já foi verificado anteriormente, na estação de Lamas de Olo, o único precursor medido é óxidos de azoto (NO_x).

Analisando os valores de óxidos de azoto registados nesta estação entre 2004 e 2006, comprovou-se que não ocorreram excedências destes aos valores legislados: as médias de NO_x , NO e NO_2 são bastante reduzidas e praticamente não apresentam variações ao longo do dia. Comparando a evolução de NO_x com a evolução do O_3 (ver Figuras 3.22 a 3.24), não se verificou qualquer relação de proporcionalidade, o que leva a concluir que o O_3 registado nesta zona provém de fontes distantes.

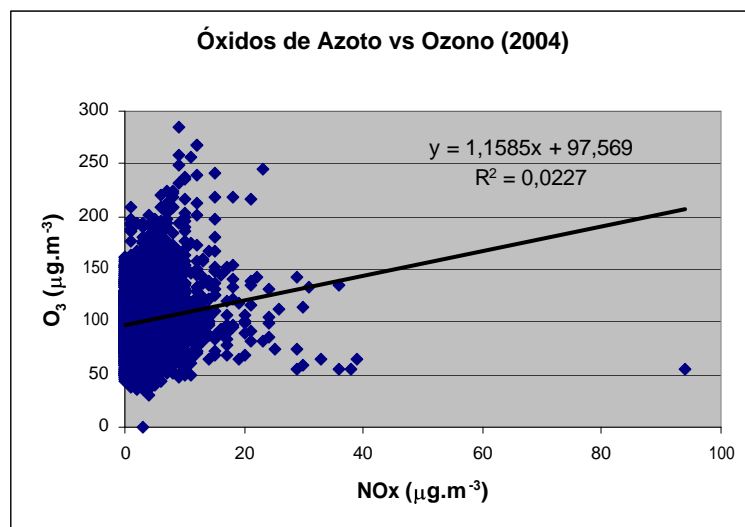


Figura 3.22. Relação existente entre as concentrações de ozono e óxidos de azoto no ano 2004.

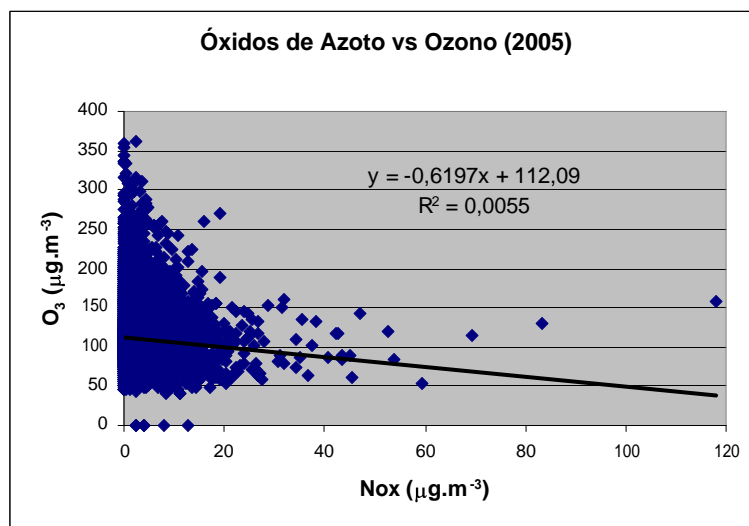


Figura 3.23. Relação existente entre as concentrações de ozono e óxidos de azoto no ano 2005.

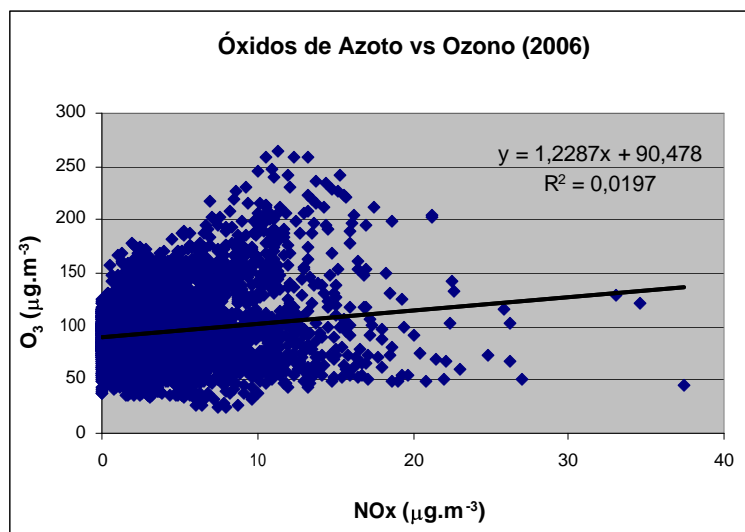


Figura 3.24. Relação existente entre as concentrações de ozono e óxidos de azoto no ano 2006.

Uma vez que um dos métodos de eliminação do O_3 da atmosfera é através da sua reacção com NO , é possível que as elevadas concentrações de O_3 neste local sejam também devidas à ausência desse poluente na atmosfera uma vez que a estação se encontra longe de indústrias e tráfego automóvel (maiores fontes de emissão).

3.1.5 Lamas de Olo versus Senhora do Minho

Pretende-se com este capítulo realizar uma análise comparativa dos dados obtidos em Lamas de Olo com os dados obtidos noutra estação rural de fundo, também situada no Norte do País. A única estação com estas características é a estação da Senhora do Minho (ver Figura 3.1).

A estação de monitorização da qualidade do ar de Senhora do Minho situa-se no concelho de Viana do Castelo e pertence à zona Norte Litoral. Situa-se junto à costa, a uma cota de 777 m, e tem como coordenadas geográficas: latitude 41°58'13" e longitude 8°41'64". Dista cerca de 80 km da estação de monitorização de Lamas de Olo.

Na Figura 3.25 ilustra-se a comparação entre os níveis de ozono registados na estação de Lamas de Olo e de Senhora do Minho para o ano de 2006.

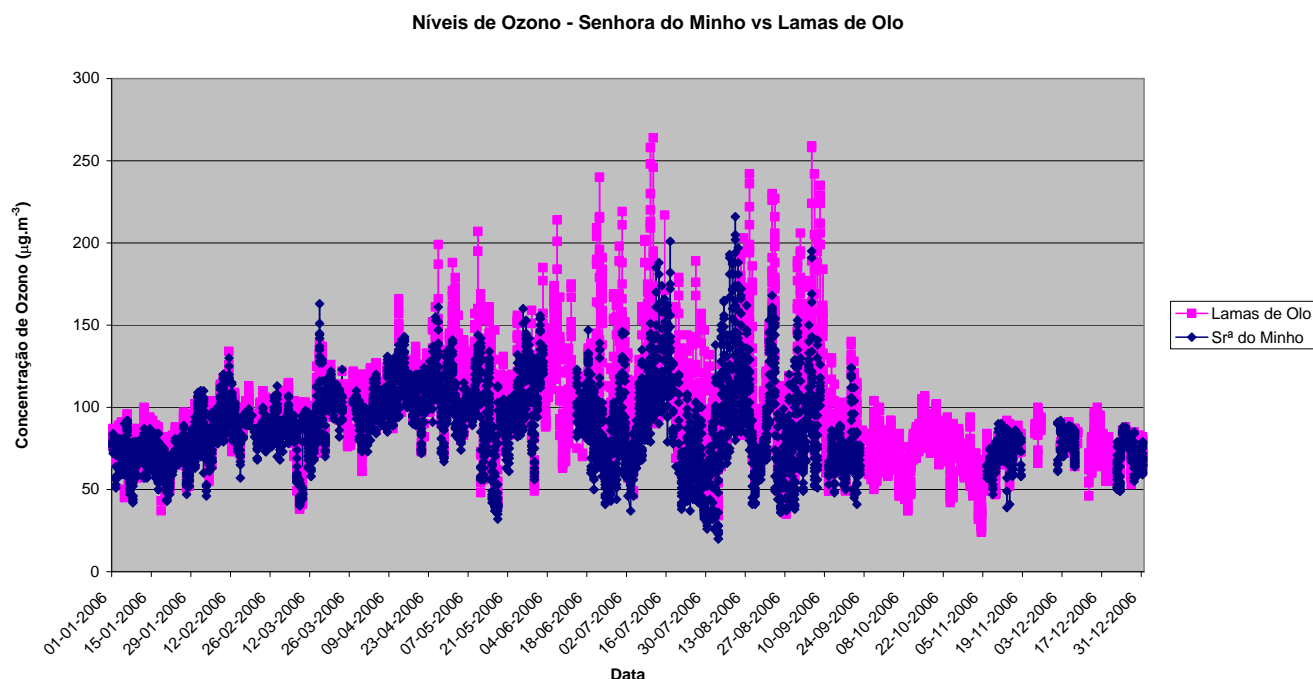


Figura 3.25. Comparação entre os níveis de ozono registados nas estações de Lamas de Olo e de Senhora do Minho.

Analisando os níveis de ozono registados nas duas estações verifica-se que, apesar de apresentarem tendências evolutivas dos níveis de ozono próximas, Lamas de Olo apresenta níveis de O_3 ligeiramente mais elevados do que Senhora do Minho. Porém, quando há um pico em Lamas de Olo também se verifica um pico em Senhora do Minho. Possíveis razões para a diferença de níveis de ozono serão a diferença de cotas e a proximidade de Senhora do Minho à costa, estando assim influenciada pelas brisas marítimas, o que leva a uma renovação das massas de ar com maior frequência.



3.1.6 Síntese conclusiva

A avaliação dos dados de qualidade do ar medidos na estação de monitorização da qualidade do ar de Lamas de Olo revela a existência de excedências aos valores limiares com bastante frequência. Revela ainda que os níveis de ozono apresentam uma variação diária e sazonal. Pode-se observar que o perfil diário do ozono apresenta uma variação dependente do ciclo solar diário. Geralmente é ao longo da noite e da manhã que se registam os valores mínimos das concentrações de ozono, enquanto que ao longo do dia as concentrações aumentam atingindo-se os valores máximos durante a tarde. Esta variação está directamente relacionada com a variação da intensidade da radiação solar sentida ao longo do dia, que influencia a produção fotoquímica e o transporte vertical dos poluentes. Durante o período nocturno, não havendo luz solar para iniciar o processo, os níveis de ozono apresentam uma diminuição acentuada. Porém, nem sempre isto acontece podendo ocorrer níveis elevados ao longo da noite. A explicação plausível para esta ocorrência baseia-se quer no transporte vertical de ozono de camadas atmosféricas mais elevadas ricas em ozono, quer no transporte de massas de ar poluídas oriundas de locais com maiores fontes de emissão de precursores de ozono troposférico.

Relativamente à variação sazonal, tendo em conta que no período de Primavera e Verão a radiação solar é mais intensa, as temperaturas são mais elevadas e os ventos são geralmente de baixa intensidade, é nesta época que se registam níveis mais elevados de ozono uma vez que se reúnem todas as características favoráveis para a produção de poluição fotoquímica. Destacam-se então os meses de Abril a Julho como sendo os meses com níveis de ozono mais elevados. Tem-se ainda verificado que os episódios têm sido registados cada vez mais cedo ao longo do ano, devido ao aumento da temperatura ambiente. Já os mínimos mais baixos têm-se registado em Agosto.

Quanto à variação anual dos níveis de ozono, registaram-se valores mais elevados para o ano de 2005, provavelmente devido às elevadas temperaturas sentidas nesse ano. No entanto, não se regista qualquer tendência anual uma vez que o período de funcionamento da estação ainda é curto, consequentemente a quantidade de dados ainda é insuficiente.

Pela análise das rosas de poluição concluiu-se que, na maioria dos casos, as emissões que provocaram episódios fotoquímicos ocorreram devido a massas de ar provenientes de Espanha,



especialmente no Verão, Outono e Inverno. Na Primavera as excedências ocorriam com maior frequência devido a massas de ar provenientes do Oceano Atlântico.

O estudo da correlação com o precursor óxidos de azoto exclui o carácter local do fenómeno, dado não existir relação entre os níveis dos óxidos de azoto e os níveis de ozono.

A análise comparativa entre as estações de fundo rural Lamas de Olo e Senhora do Minho aponta para a singularidade da zona Nordeste Transmontana. Registam-se tendências evolutivas semelhantes, no entanto, os níveis de ozono de Lamas de Olo são superiores aos níveis em Senhora do Minho, provavelmente devido à diferença de cotas e/ou à proximidade de Senhora do Minho à costa.

A compilação de dados de qualidade do ar apresentada neste capítulo não é suficiente para uma análise conclusiva. Os padrões de comportamento dos níveis de ozono nem sempre são óbvios, exigindo uma maior quantidade de dados. Sendo assim considera-se que este estudo deverá ser aprofundado nos próximos anos.

3.2 Projecto FOTONET

O projecto FOTONET – Poluição Atmosférica Fotoquímica no Nordeste Transmontano: Origem, Transporte e Dispersão, tem duração de dois anos (período de execução de 1 de Dezembro de 2005 a 31 de Dezembro de 2007) e reúne investigadores e estudantes das universidades de Trás-os-Montes e Alto Douro (Vila Real), Fernando Pessoa no Porto, Aveiro, Nova de Lisboa e Instituto Politécnico de Bragança. Tem ainda a cooperação da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte e da Agência Portuguesa do Ambiente. Este projecto visa contribuir para o avanço do conhecimento relativo aos processos e mecanismos que levam à formação do ozono troposférico na região do Nordeste Transmontano, em especial nas áreas classificadas de montanha como o Parque Natural do Alvão, e inferir se esses valores são representativos de toda a zona que abrange o Norte Interior. Pretende-se ainda avaliar se existe para esta região um potencial significativo de redução do risco, da duração ou da gravidade das excedências dos limiares de alerta aplicáveis ao ozono.



No âmbito deste projecto realizaram-se campanhas intensivas de medição da qualidade do ar em vários pontos do Nordeste Transmontano. Para tal, foram utilizadas três estações móveis de monitorização da qualidade do ar e de dados meteorológicos (CESAM, SondarLab e SNIF AirLab) que permaneciam durante um certo período de tempo em cada um dos vários pontos de amostragem escolhidos num raio de cerca de 40 km ao redor de Vila Real (ver Figura 3.26). Pretendia-se monitorizar de forma contínua as concentrações médias de alguns poluentes envolvidos na poluição fotoquímica e formação de ozono troposférico. A realização de campanhas em vários pontos ao redor de Lamas de Olo é particularmente útil na compreensão da direcção das fontes de emissões de poluentes, através da realização de rosas de poluição nos diversos pontos de amostragem.



Figura 3.26. Localização dos pontos de amostragem das campanhas do projecto FOTONET (Monitorização contínua).

Uma vez que se pretende o estudo da produção fotoquímica, as campanhas experimentais ocorreram na época do ano onde estas condições prevalecem. É neste contexto que se programaram e executaram as campanhas experimentais para condições típicas de Verão em 2006. Os resultados obtidos permitem ainda a caracterização meteorológica e da qualidade do ar da região, e a aquisição de dados reais susceptíveis de serem utilizados na comparação com resultados da modelação.



As campanhas decorreram nas datas apresentadas na Tabela 3.10 e foram estruturadas de modo a integrar todos os meios de aquisição de dados (meteorológicos e de qualidade do ar), quer públicos, quer privados existentes no domínio de estudo. Para complementar a rede fixa foram utilizados meios móveis colocados em zonas onde a cobertura existente parecia deficiente, face ao nível de exigência de informação pretendida. Uma vez que se pretendia averiguar se os níveis de ozono em Lamas de Olo eram representativos de toda a zona Norte Interior, foram escolhidos pontos a diferentes altitudes, em diversos locais. Os parâmetros monitorizados em cada ponto de amostragem aparecem referidos na Tabela 3.11.

Tabela 3.10. Identificação dos períodos de monitorização de cada ponto de amostragem.

	Ponto de Amostragem					
	Lamas de Olo	Lalim	Valpaços	Ermelo	Mezio	IP4/A24
Período de medições	2Junho a 1Julho de 2006	6Junho a 31Julho de 2006	14Junho a 3Julho de 2006 3Junho a 3Julho de 2006 (só BTX)	2 a 30Junho de 2006 3Junho a 2Julho de 2006 (só BTX)	21Julho a 5Agosto de 2006	5 a 19Julho de 2006



Tabela 3.11. Identificação dos parâmetros monitorizados em cada ponto de amostragem.

Parâmetros medidos		Ponto de Amostragem					
		Lamas de Olo	Lalim	Valpaços	Ermelo	Mezio	IP4/A24
Qualidade do ar	NO	S	S	S	N	S	S
	NO ₂	S	S	S	N	S	S
	NO _x	N	S	S	N	S	S
	CO	S	S	S	N	S	S
	O ₃	S	S	S	S	S	S
	SO ₂	N	N	S	N	N	N
	PM _{2,5}	S	N	N	S	N	N
	PM ₁₀	S	S	N	S	S	S
	Benzeno	N	N	S	S	N	N
	Tolueno	N	N	S	S	N	N
	Xileno	N	N	S	S	N	N
Meteorologia	Temperatura	S	N	S	S	S	S
	Humidade Relativa	N	N	S	N	S	S
	Velocidade do Vento	S	N	S	S	S	S
	Direcção do Vento	S	N	S	S	S	S
	Precipitação	S	N	N	S	S	S
	Radiação Solar	N	N	S	N	S	S

S parâmetro medido

N parâmetro não medido

Na Tabela 3.12 listam-se as condições meteorológicas predominantes durante as campanhas nos diversos pontos de amostragem, bem como as suas características em termos de distância à costa, distância a Lamas de Olo, altitude e coordenadas.



Tabela 3.12. Identificação das características dos pontos de amostragem.

	Ponto de Amostragem					
	Lamas de Olo	Lalim	Valpaços	Ermelo	Mezio	IP4/A24
T_{média} (°C)	16,8	--	20,9	21,2	20,4	25,1
T_{mínima} (°C)	9,0	--	12,3	12,1	10,2	11,8
T_{máxima} (°C)	25,8	--	33,3	34,2	31,2	37,1
HR_{média} (%)	59,2	--	59,4	--	57,7	46,0
HR_{mínima} (%)	10,5	--	18,5	--	12,5	12,2
HR_{máxima} (%)	99,7	--	96,0	--	97,7	93,7
VV_{média} (m.s⁻¹)	4,5	--	2,6	0,4	1,8	1,4
VV_{máxima} (m.s⁻¹)	15,5	--	7,6	3,1	5,7	4,3
Distância ao mar (km)	80	75	133	42	75	104
Distância a Lamas de Olo (km)	--	30	48	8	40	10
Altitude (m)	1086	523	468	287	927	940
Latitude	41°22'	41°02'	41°24'	41°22'	40°59'	41°20'
Longitude	7°47'	7°48'	7°27'	7°52'	7°52'	7°48'

3.2.2 Análise dos resultados

Nesta secção será feita uma análise dos níveis de ozono entre os vários locais de monitorização em contínuo e o da estação de Lamas de Olo. Os resultados da comparação dos níveis de ozono estão ilustrados nas Figuras 3.27 a 3.31.

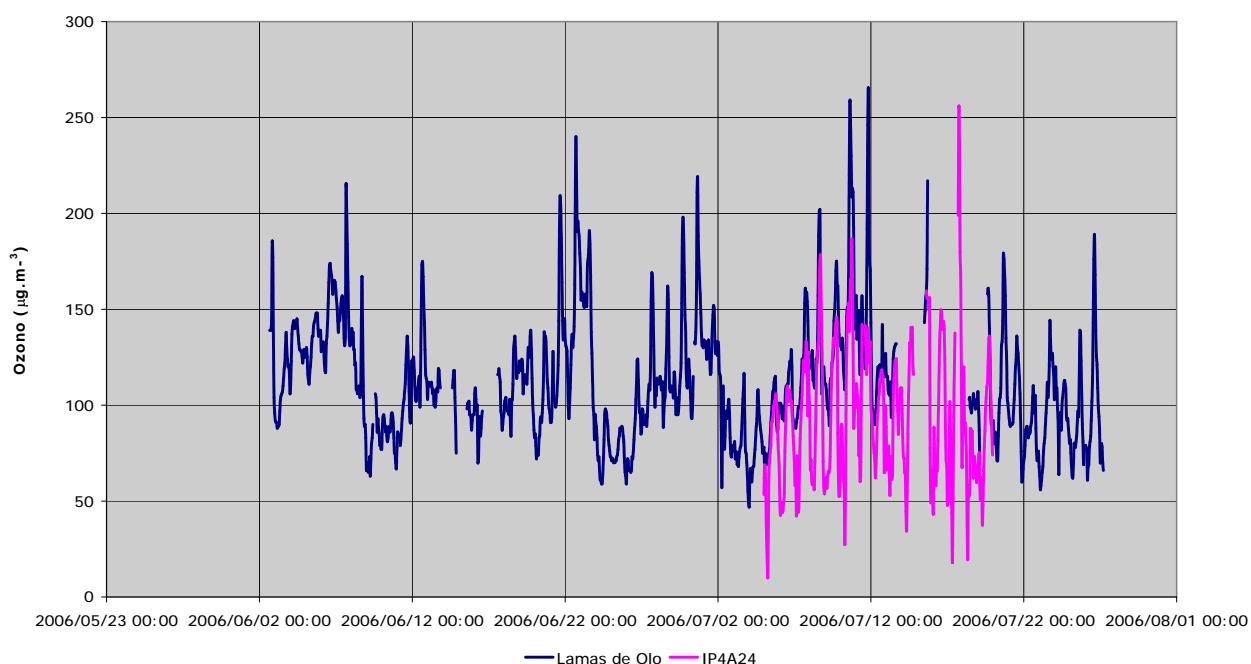


Figura 3.27. Comparação dos níveis de ozono em Lamas de Olo e ponto IP4/A24.

O ponto IP4/A24 é o que apresenta maior proximidade de Lamas de Olo, e ambos estão situados a altitudes elevadas. Analisando a Figura 3.27, verifica-se que ambos os pontos apresentam um comportamento semelhante nos níveis de ozono, no entanto Lamas de Olo regista valores ligeiramente mais elevados. A explicação deste facto pode dever-se às características topográficas de ambos os pontos – Lamas de Olo encontra-se num ponto elevado sem obstáculos ao seu redor, enquanto que o ponto IP4/A24 se encontra intercalado de vales encaixados e estreitos, podendo contribuir para uma maior remoção de ozono por deposição. Relativamente às tendências nocturnas, verifica-se que os níveis de ozono descem no IP4/A24 mas permanecem elevados em Lamas de Olo.

Quanto aos óxidos de azoto, como era de esperar, os valores são mais elevados no ponto IP4/A24, dada a proximidade a uma via rodoviária.

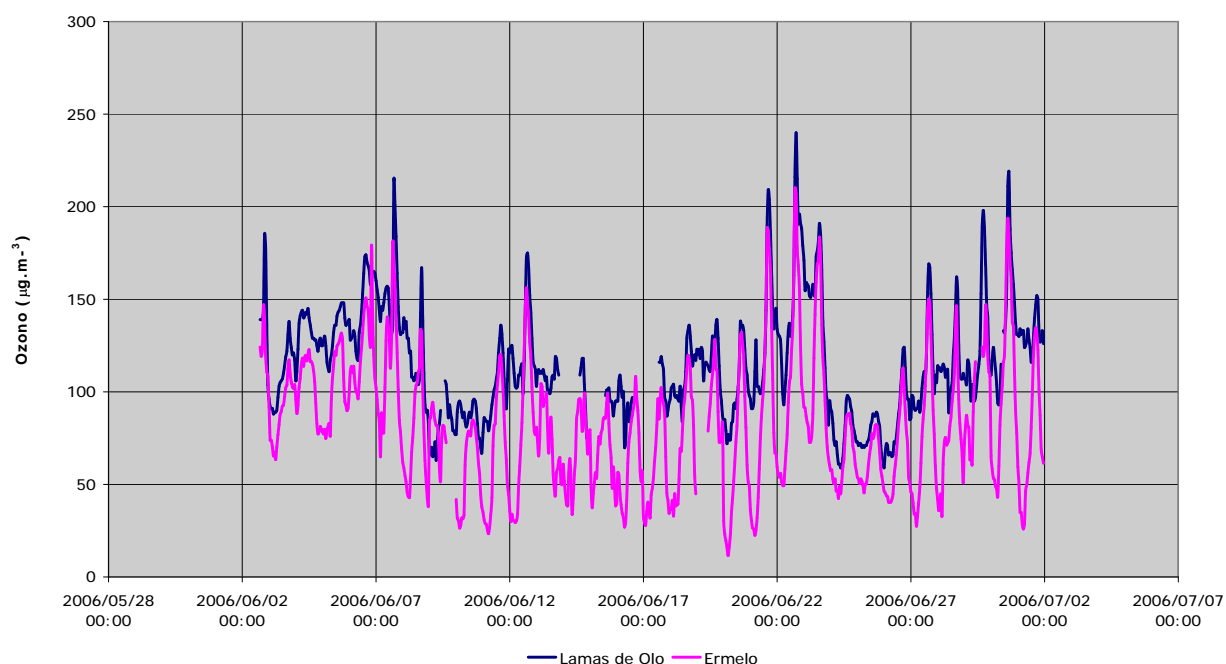


Figura 3.28. Comparação dos níveis de ozono em Lamas de Olo e Ermelo.

Lamas de Olo e *Ermelo* são locais próximos, no entanto a altitudes bastante diferentes. *Ermelo* localiza-se num vale, o que leva à maior probabilidade de ocorrência de fenómenos de deposição – as massas de ar ficam retidas ocorrendo consumo de ozono por interação com COV (aqui as emissões de COV são mais elevadas dada a maior cobertura vegetal característica de altitudes mais baixas). Porém, é durante a noite que as diferenças dos níveis de ozono são mais notórias, devido às diferentes características topográficas.

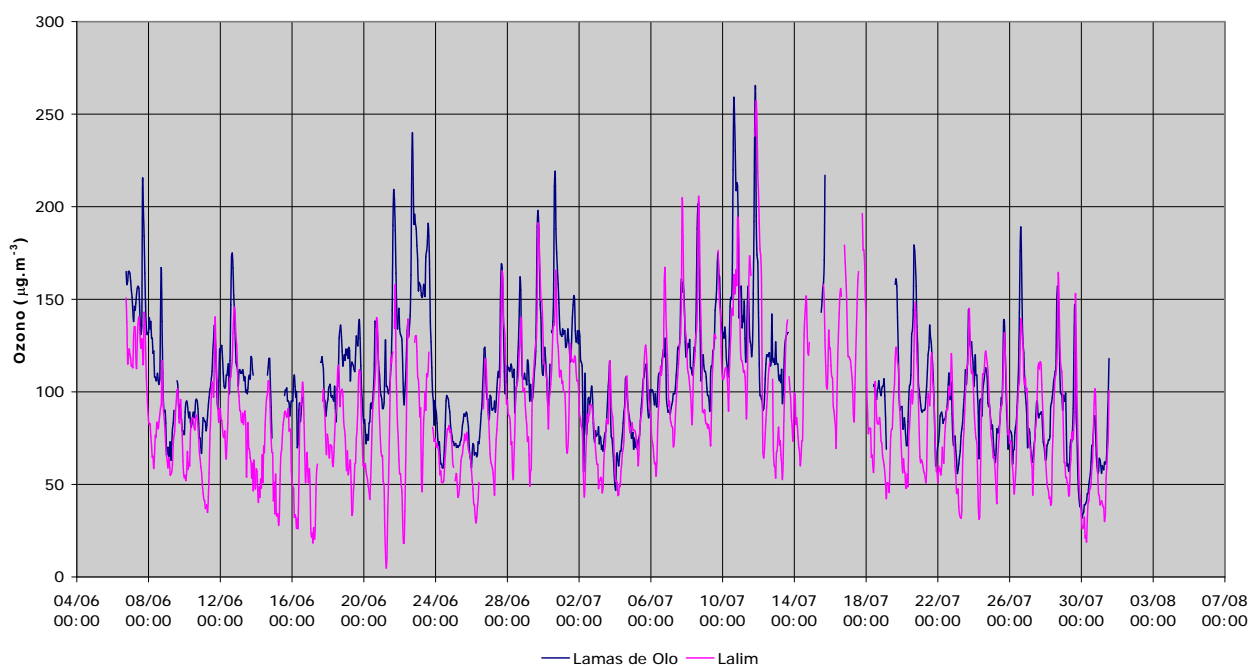


Figura 3.29. Comparação dos níveis de ozono em Lamas de Olo e Lalim.

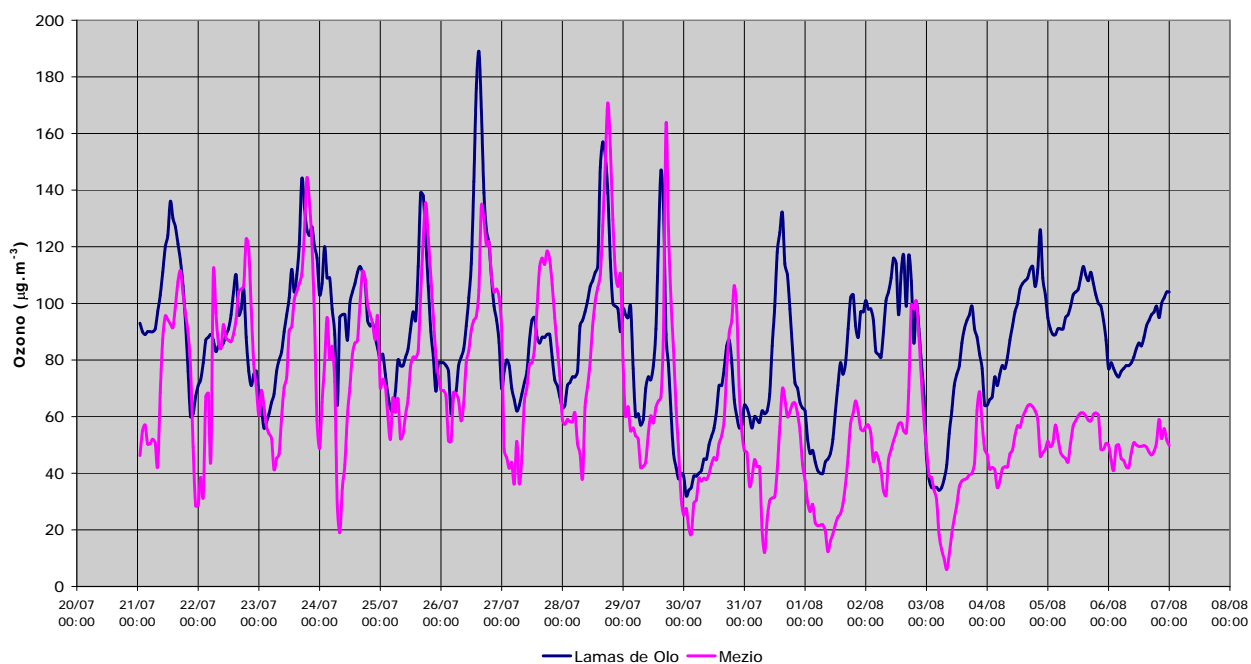


Figura 3.30. Comparação dos níveis de ozono em Lamas de Olo e Mezio.

Lalim e Mezio são locais próximos, mas situados a diferentes cotas. No entanto, apresentam níveis de ozono bastante semelhantes. Comparando-os com Lamas de Olo verificamos que os níveis de



ozono continuam a ser superiores em Lamas de Olo. Quando há picos nocturnos em Mezio e Lalim também há em Lamas de Olo. Analisando a direcção do vento verifica-se que nessas noites as massas de ar provêm de Espanha, o que leva a crer na formação do ozono durante o dia e seu transporte até ao local.

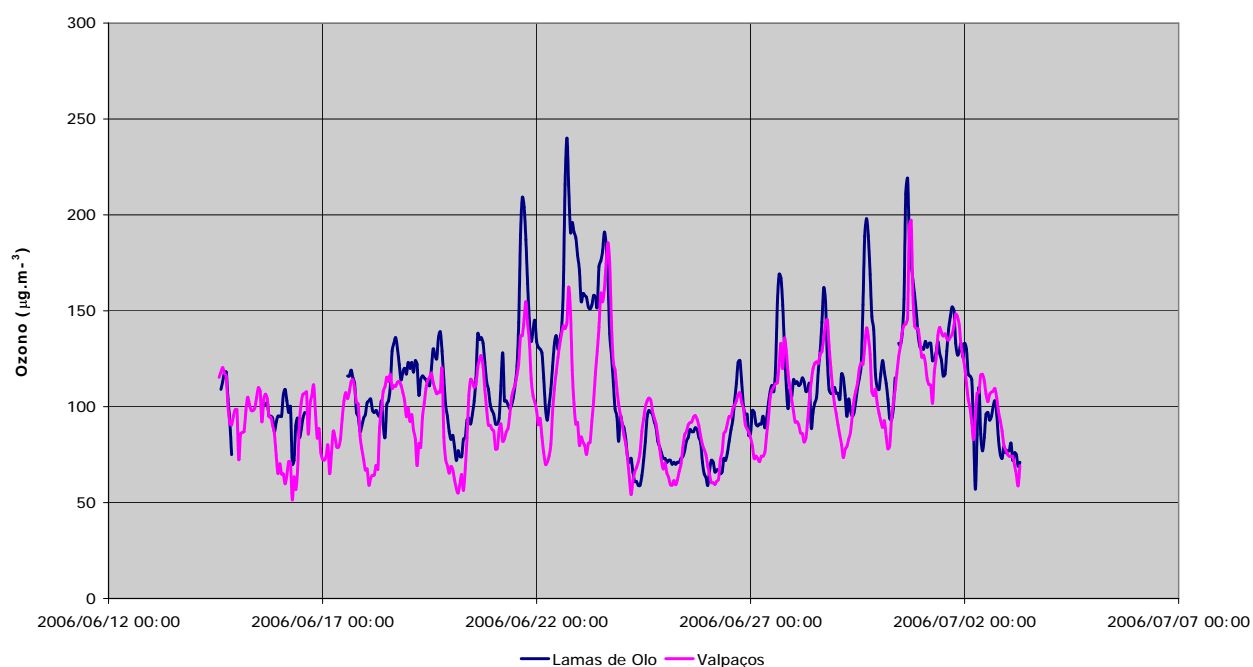


Figura 3.31. Comparação dos níveis de ozono em Lamas de Olo e Valpaços.

Valpaços é o ponto mais afastado de Lamas de Olo, porém apresenta níveis de ozono ligeiramente mais baixos do que Lamas de Olo. Analisando as massas de ar, aos níveis de ozono mais elevados correspondem ventos provenientes de Espanha (ver Figura 3.32).

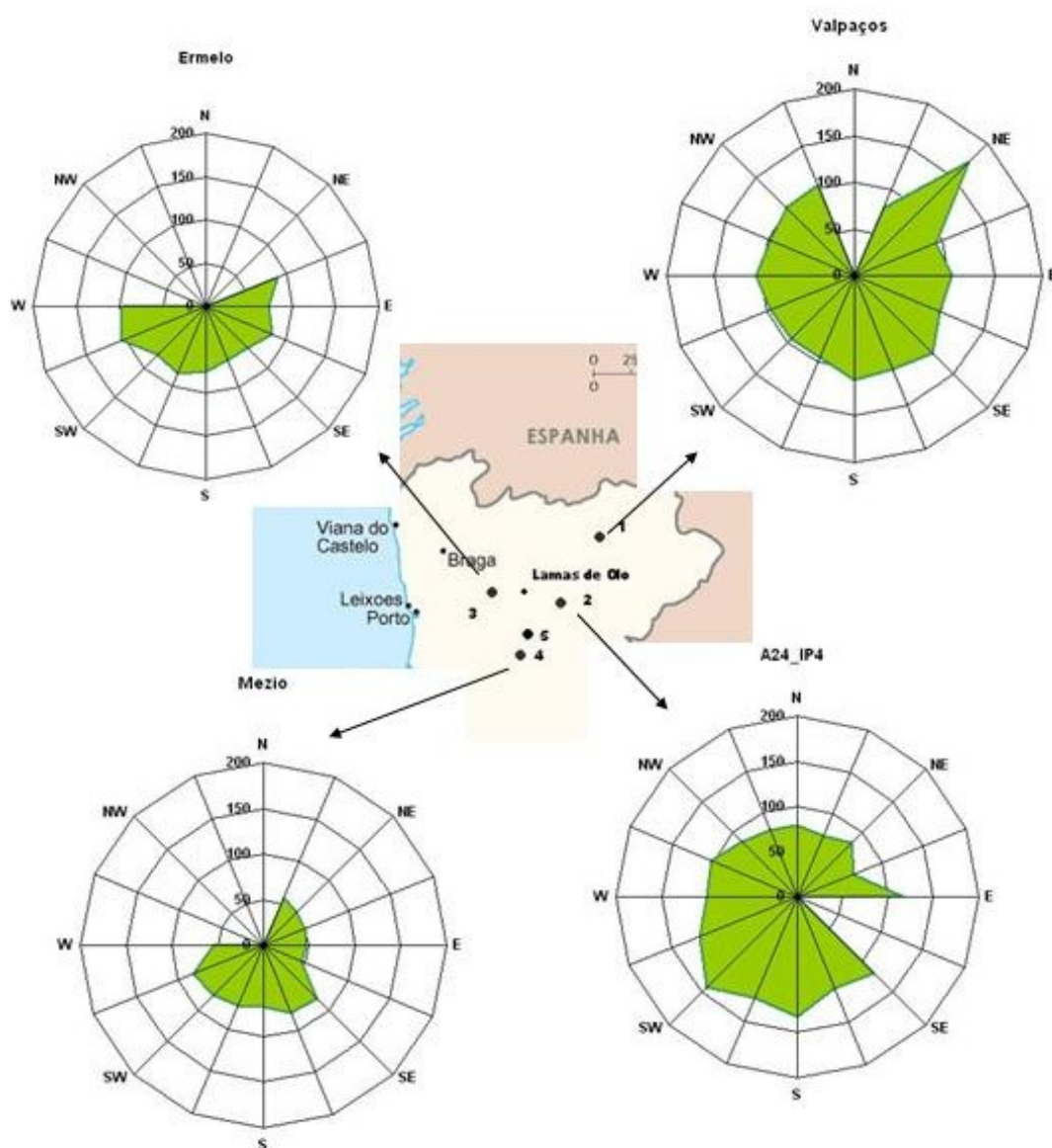


Figura 3.32. Rosas de Poluição relativas a cada ponto de amostragem.

Através da análise das rosas de poluição verifica-se que os níveis mais elevados de ozono em Valpaços resultam de massas de ar provenientes de NE, em A24/IP4 de massas de ar oriundas de SW, em Mezio de SE e em Ermelo provêm de SWW. Uma vez que as campanhas não ocorreram nas mesmas datas em todos os locais, não é possível desvendar a localização exacta das fontes emissoras. Porém, o facto dos valores mais elevados de ozono registarem proveniência de massas de ar oriundas de NE, indiciam que os níveis de ozono possam ser resultado de emissões provenientes essencialmente do Norte de Espanha, dada a existência de várias possíveis fontes



emissoras de precursores nessa zona, nomeadamente centrais térmicas (por exemplo, a central térmica de Compostilla ou de As Pontes sendo esta última o maior foco contaminante europeu).



4. MODELAÇÃO DA QUALIDADE DO AR

A modelação da qualidade do ar integra e processa informação meteorológica, emissões e a química da atmosfera para prever a qualidade do ar através de uma representação matemática do comportamento dos poluentes na atmosfera. Possibilita a estimativa da qualidade do ar em locais de difícil acesso, para além de permitir identificar os locais em que deve haver monitorização contínua dos poluentes (Kiely, 1997). Em Portugal Continental, uma vez que as estações de monitorização da qualidade do ar se localizam quase exclusivamente junto à costa ou nos grandes aglomerados populacionais, o recurso à modelação é essencial para avaliar a qualidade do ar e identificar a ocorrência de excedências em todo o continente.

A escolha do modelo a utilizar baseia-se no tipo de poluente a estudar, a escala a utilizar (sinóptica ou mesoscala), parâmetros pretendidos (concentrações no ambiente, deposição), abordagem a utilizar (analítica, euleriana, lagrangeana), média temporal necessária (episódica ou de longo prazo) e custos de operação (Long *et al*, 1995). Para a simulação do ozono troposférico neste trabalho, utilizou-se o modelo TAPM (The Air Pollution Model) concebido por CSIRO – Atmospheric Research. As razões para a sua escolha passam pela sua capacidade de aplicação a séries longas de dados, e aptidão na simulação de circulações atmosféricas de mesoscala.

4.1 O Modelo TAPM

O modelo TAPM é um modelo tridimensional que tem como finalidade prever, no espaço e no tempo, a meteorologia e turbulência usadas para dispersar e fazer reagir os poluentes atmosféricos emitidos por várias fontes (através da velocidade e direcção do vento, a temperatura, a humidade relativa e os fluxos de superfície do local - brisas marítimas e circulações induzidas do terreno), e com estes prever o nível de poluição resultante (concentração do poluente ao nível do solo). Para a modelação da meteorologia, utiliza bases de dados de orografia, uso do solo, temperatura superficial e condições sinópticas. Para a simulação do nível de poluição, utiliza os resultados obtidos pela modelação da meteorologia e ainda estimativas de emissões provenientes de todas as fontes emissoras (Hurley, 2002).



O modelo resolve a equação da conservação da quantidade de movimento para as componentes horizontais do vento, a equação da continuidade de um fluido incompressível para a componente vertical e equações escalares para a temperatura potencial e humidade específica.

Na Figura 4.1 apresenta-se uma representação esquemática do Modelo TAPM.

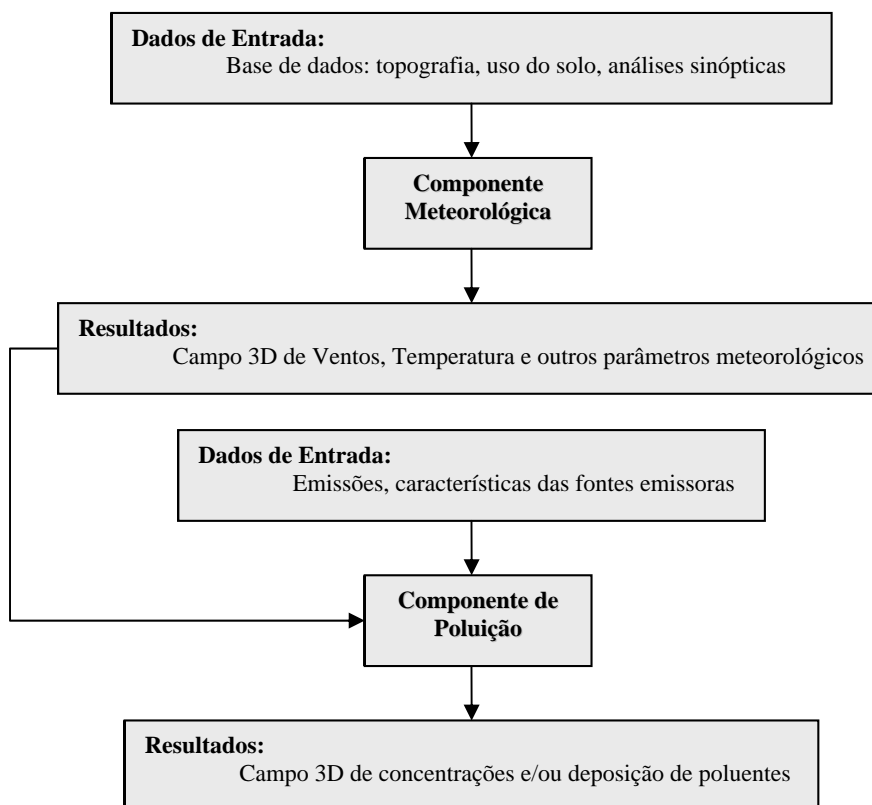


Figura 4.1. Representação esquemática do Modelo TAPM (adaptado de Ribeiro, 2005).

Segundo Park *et al* (2004), o TAPM demonstrou bons resultados na estimativa de dióxido de enxofre, partículas, dióxido de azoto e ozono, quando comparado com medições reais. Em Portugal tem sido utilizado em estudos à escala local, como estudos de impacte ambiental, onde tem produzido bons resultados (Ribeiro, 2005). A interpretação dos resultados deste modelo não fica limitada à análise do cumprimento da legislação através da análise de médias e percentis, podendo incluir o estudo da evolução temporal do campo tridimensional de concentrações de um poluente (Coutinho *et al*, 2004).



4.1.1 Descrição Física do Modelo

O modelo TAPM tem duas componentes: a componente meteorológica e a componente de poluição.

4.1.1.1 Componente Meteorológica

Esta componente baseia-se na resolução da equação da continuidade de um fluido incompressível, não hidrostático, para um sistema de coordenadas verticais para simulações 3D. Inclui parametrizações dos processos físicos para formação de nuvens/chuva/neve, turbulência, uso do solo e fluxos de radiação. Devido ao facto de se assumir uma grelha uniforme que despreza a curvatura da Terra, o domínio horizontal do modelo é limitado a uma dimensão de 1500 x 1500 km².

A velocidade média do vento é determinada através das suas componentes horizontais a partir das equações da quantidade de movimento, a velocidade vertical a partir da equação da continuidade e a temperatura potencial a partir das equações da energia e da conservação da água. O cálculo da turbulência, ou dos fluxos turbulentos, é feito através da aplicação de um fecho da turbulência de segunda ordem (permite uma descrição mais detalhada das propriedades turbulentas) com base na teoria dos coeficientes de difusividade e de gradientes dos termos médios.

A parametrização do solo e da vegetação provêm de Kowalczyk et al (1991) (Hurley, 2002). Quanto às parametrizações do solo utilizadas para zonas urbanas, verifica-se que o TAPM utiliza um valor médio de densidade urbana, sendo que o centro de uma cidade poderá ter valores de rugosidade, fluxo de calor e fração de cobertura urbana subestimados, dependendo da densidade urbana de cada estudo (Hurley, 2002).

O modelo é iniciado em cada ponto da malha com os valores interpolados da base de dados sinóptica. Os termos de turbulência são fixados nos valores mínimos, dado a simulação iniciar à meia-noite.

4.1.1.2 Componente de Poluição

O modelo utiliza a formulação Euleriana tridimensional desenvolvida para a simulação dos processos físico-químicos associados à produção, transporte, dispersão e deposição de poluentes atmosféricos reactivos e inertes. Considera fontes de emissão antropogénicas e naturais, pontuais e



em área, podendo ser utilizado tanto para poluentes passivos como reactivos. Possui ainda um módulo para o cálculo da sobre-elevação das emissões provenientes de fontes pontuais de elevada potência. A remoção dos poluentes é considerada por deposição seca e húmida.

A concentração de poluentes é prevista através duma equação semelhante à da temperatura potencial virtual e da humidade específica e inclui a advecção, difusão e os termos que representam as emissões do poluente e das reacções químicas. As reacções químicas na atmosfera são simuladas considerando 10 reacções para 13 espécies: smog reactivo (R_{smog}), mistura de radicais (RP), peróxido de hidrogénio (H_2O_2), óxido de azoto (NO), dióxido de azoto (NO_2), ozono (O_3), dióxido de enxofre (SO_2), carbono orgânico não gasoso estável (SNGOC), produtos gasosos estáveis de azoto (SGN), produtos não gasosos estáveis de azoto (SNGN), produtos não gasosos estáveis de enxofre (SNGS), partículas totais (APM) e partículas finas (FPM) que incluem as partículas secundárias SNGOC, SNGN e SNGS. As reacções estão descritas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Reacções consideradas no mecanismo fotoquímico do modelo TAPM (Hurley, 2002).

$R_{smog} + h\nu \rightarrow RP + R_{smog} + \eta SNGOC$	$R_1 = k_1 [R_{smog}]$
$RP + NO \rightarrow NO_2$	$R_2 = k_2 [RP][NO]$
$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O_3$	$R_3 = k_3 [NO_2]$
$NO + O_3 \rightarrow NO_2$	$R_4 = k_4 [NO][O_3]$
$RP + RP \rightarrow RP + \alpha H_2O_2$	$R_5 = k_5 [RP][RP]$
$RP + NO_2 \rightarrow SGN$	$R_6 = k_6 [RP][NO_2]$
$RP + NO_2 \rightarrow SNGN$	$R_7 = k_7 [RP][NO_2]$
$RP + SO_2 \rightarrow SNGS$	$R_8 = k_8 [RP][SO_2]$
$H_2O_2 + SO_2 \rightarrow SNGS$	$R_9 = k_9 [H_2O_2][SO_2]$
$O_3 + SO_2 \rightarrow SNGS$	$R_{10} = k_{10} [O_3][SO_2]$

A concentração de R_{smog} é definida por um coeficiente de reactividade a multiplicar pela concentração de compostos orgânicos voláteis (COV). Esse coeficiente foi determinado experimentalmente em câmaras de reacção tendo em conta vários mecanismos fotoquímicos. Uma vez que as emissões de COV consistem em mais do que um composto, é necessário calcular o R_{smog} com um coeficiente por cada tipo de COV. Uma alternativa a esse cálculo consiste em utilizar



um valor padrão para uma mistura padrão de COV. Deste modo calcula-se pela seguinte expressão:

$$R_{smog} = 0,0064[COV] \text{ (Hurley, 2002).}$$

4.2. Condições de simulação

Para além da análise da poluição fotoquímica, pretende-se avaliar a capacidade do modelo para reproduzir de forma realista o domínio atmosférico em estudo e, como tal, garantir a consistência das estratégias de controlo de poluição a desenvolver futuramente. Sendo este modelo constituído por duas componentes, importa compreender o desempenho de ambas para que se possa avaliar o desempenho do sistema como um todo. Para tal, o modelo foi aplicado para ambas as componentes e os seus resultados foram validados face a dados obtidos na estação de Lamas de Olo. No caso da componente meteorológica interessava testar a resposta à topografia enquanto que no caso da componente da qualidade do ar interessava testar a sensibilidade à presença de emissões.

Para validar a *componente meteorológica* aplicou-se o modelo, inicialmente ao período de tempo correspondente à campanha experimental realizada em Lamas de Olo no âmbito do projecto FOTONET (2 de Junho a 1 de Julho de 2006) e depois ao ano completo de 2006. Os dados de entrada foram dados meteorológicos do ano 2006 (base de dados concebida por CSIRO – Atmospheric Research), domínios de estudo e espaçamentos:

Domínio 1 – 1200x1200 km² (resolução: 40x40 km²) – abrange toda a Península Ibérica;

Domínio 2 – 300x300 km² (resolução: 10x10 km²) – abrange o Norte de Portugal Continental e parte do Norte de Espanha;

Domínio 3 – 90x90 km² (resolução: 3x3 km²) – abrange apenas a zona Norte Interior.

Foram analisados vários domínios de estudo de modo a utilizar a capacidade que o modelo possui de realizar o “nesting”, levando a uma melhor simulação dos fenómenos atmosféricos uma vez que são multiescalares e consequentemente a obter melhores resultados. Todos têm como ponto central a estação de monitorização da qualidade do ar de Lamas de Olo. Na Figura 4.2 apresentam-se os



domínios utilizados, disponibilizados pelo TAPM, e sua topografia, sendo os locais de maior altitude os que apresentam cor mais escura.

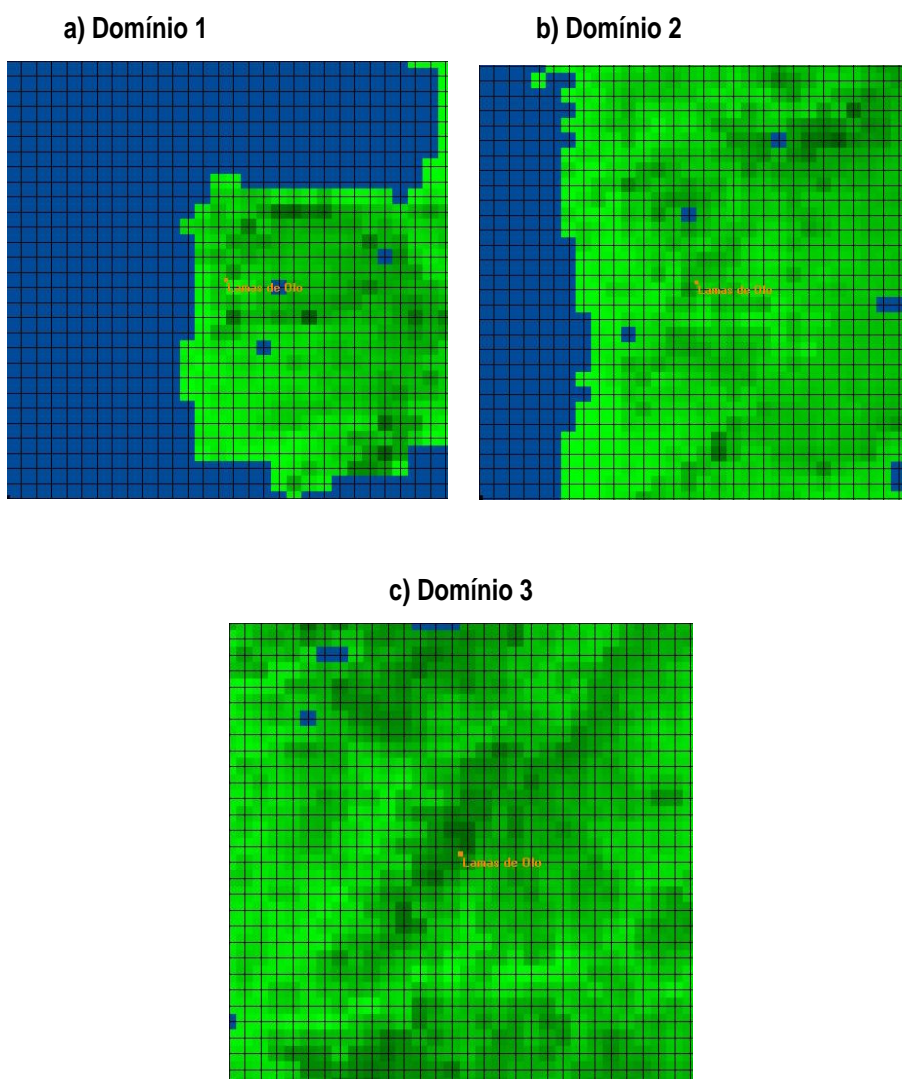


Figura 4.2. Domínios de estudo e identificação do ponto central, nomeadamente Lamas de Olo (a) Domínio 1, b) Domínio 2, c) Domínio 3).

Os resultados obtidos foram comparados com as medições da estação de monitorização da qualidade do ar de Lamas de Olo.

O estudo do desempenho da *componente da qualidade do ar* foi efectuado para os mesmos períodos de tempo, para os mesmos domínios de estudo e resoluções anteriormente referidos. Os dados de entrada foram os resultantes da simulação da meteorologia, mas também emissões em



área resultantes dum inventário de emissões, e níveis de fundo dos poluentes associados à poluição fotoquímica. Os resultados obtidos foram comparados com os provenientes da estação.

4.2.1 Base de dados de emissões

A modelação só é possível com o conhecimento quantitativo das emissões dos poluentes de interesse nos domínios de simulação. Para tal, é essencial a elaboração de um *inventário de emissões* para que se possa avaliar a qualidade do ar da zona em estudo. Este é um instrumento estratégico para a gestão ambiental que permite conhecer as diversas fontes de emissão e os poluentes emitidos por cada fonte.

Para a simulação da qualidade do ar no ano 2006 utilizou-se informação obtida do relatório oficial do programa EMEP (programa cooperativo que tem como objectivo monitorizar e avaliar o transporte a longa distância de poluentes atmosféricos). Através deste programa tem-se acesso às emissões dos principais poluentes atmosféricos por sector, como emissões em grelha. Pretendia-se assegurar para análise as emissões de Espanha e o potencial transporte transfronteiriço. Neste estudo utilizaram-se dados obtidos para o ano de 2003, uma vez que estes eram os dados mais recentes disponíveis [URL 3]. Os poluentes considerados foram o PM₁₀, NO_x, SO₂ e COV.

As actividades incluídas no cálculo das emissões foram:

- Combustão: produção de energia (inclui as centrais térmicas);
- Combustão não industrial: produção e geração de calor no sector comercial e doméstico;
- Combustão na indústria (inclui as indústrias químicas, de metais não ferrosos, de pasta de papel, de cortiça, siderurgia e diversas outras unidades de pequena e média dimensão);
- Processos de produção (fontes pontuais: fábricas de ácido sulfúrico e nítrico, e de pasta de papel; fontes em área: produção de etileno, propileno, policloreto e cloreto de vinilo, polietileno de alta e baixa densidade, cimento, vidro e cerâmica, a indústria primária de aço e ferro e as fundições de metais ferrosos);
- Extracção e distribuição de energias fósseis e geotérmicas (inclui a refinação de petróleo);
- Evaporação de solventes (inclui a aplicação da pintura na indústria e em usos domésticos, na construção civil e na reparação de veículos, bem como o uso industrial e doméstico de solventes);



- Transporte rodoviário (automóveis ligeiros a gasolina e a diesel, veículos pesados a diesel e motociclos; considerado o principal emissor de NO_x e COV).

As emissões não são distribuídas uniformemente por todo o domínio, dependem das características individuais de cada região, dos pontos de vista sócio-económico, industrial e demográfico. As informações adquiridas, reunidas tornam possível a análise completa das situações que distinguem cada região.

Com estes dados preparou-se um ficheiro de entrada do TAPM com as coordenadas de cada grelha e a respectiva emissão total de cada um dos poluentes.

Relativamente aos níveis de fundo exigidos pelo modelo, foi realizada uma análise aos valores medidos na estação de monitorização de Lamas de Olo no ano de 2006. Dessa análise resultou 45 µg.m⁻³ (21 ppb) como nível de fundo de ozono mais provável.

4.2.2 Resultados da validação

- Componente meteorológica

A validação da componente meteorológica foi realizada tendo em conta os seguintes parâmetros meteorológicos: temperatura, velocidade do vento, direcção do vento, radiação solar e precipitação. Apresenta-se na Tabela 4.2 a análise quantitativa dos coeficientes de correlação para os parâmetros meteorológicos em análise.

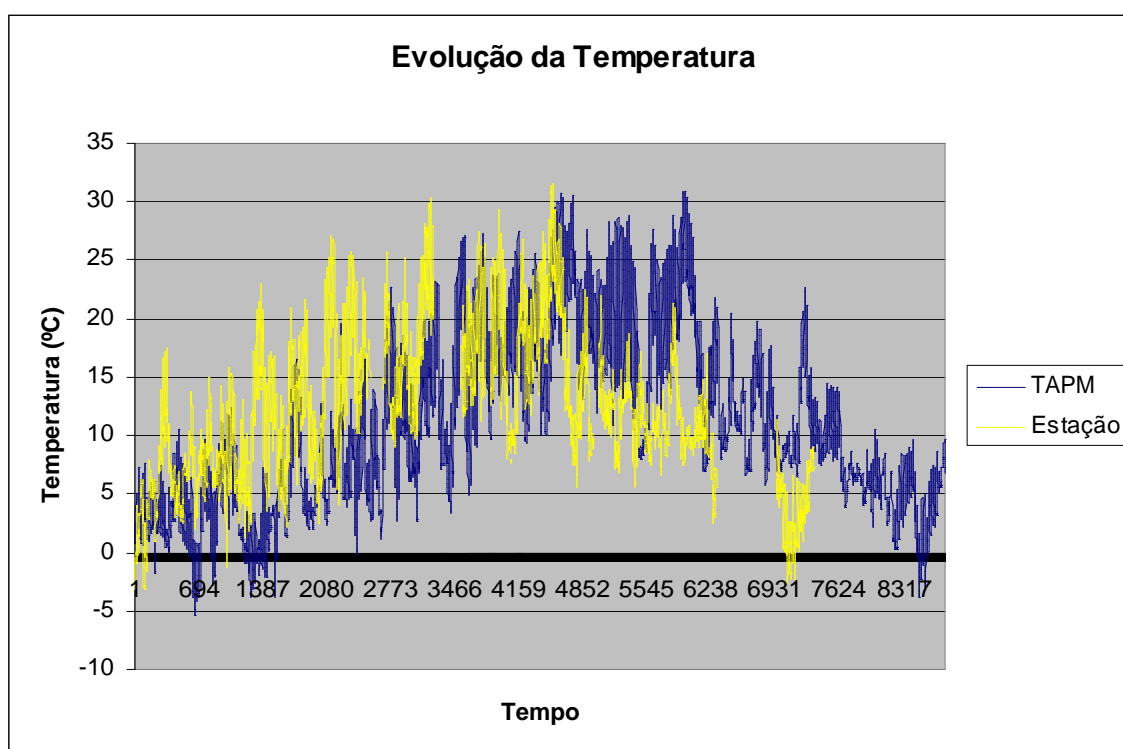
Tabela 4.2. Coeficientes de correlação (r^2) para a temperatura, velocidade e direcção do vento, radiação solar e precipitação para os domínios de estudo.

	Domínio 1	Domínio 2	Domínio 3
Temperatura	0,70	0,41	0,93
Velocidade do Vento	0,24	0,05	0,37
Direcção do Vento	0,06	0,08	0,06
Radiação Solar	0,86	0,76	0,85
Precipitação	0,02	0,00	0,01

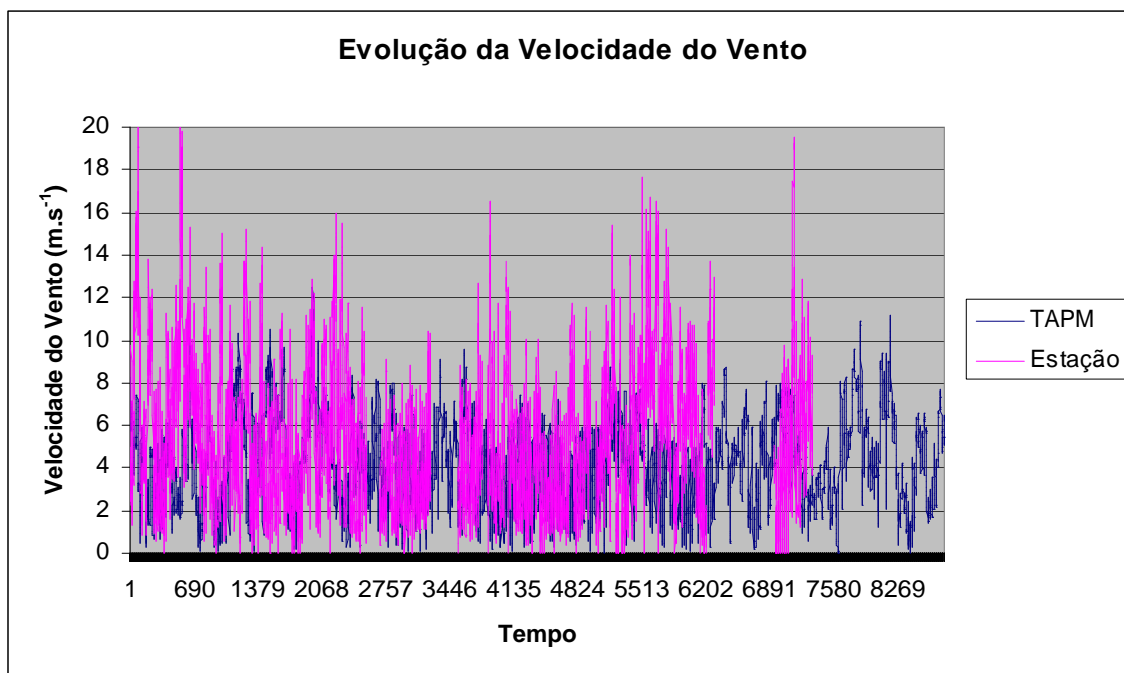


Através da análise dos coeficientes de correlação comprova-se que: a temperatura revela grande semelhança entre os valores simulados e os medidos, e essa semelhança é maior no domínio 3; a radiação solar é o parâmetro cuja semelhança é maior entre valores medidos e simulados sendo essa semelhança bastante equivalente em qualquer um dos domínios. No entanto, as variáveis velocidade e direcção do vento, e precipitação apresentam valores bastante baixos o que leva a concluir que o modelo não simula bem, nem as condições do vento, nem precipitação no local.

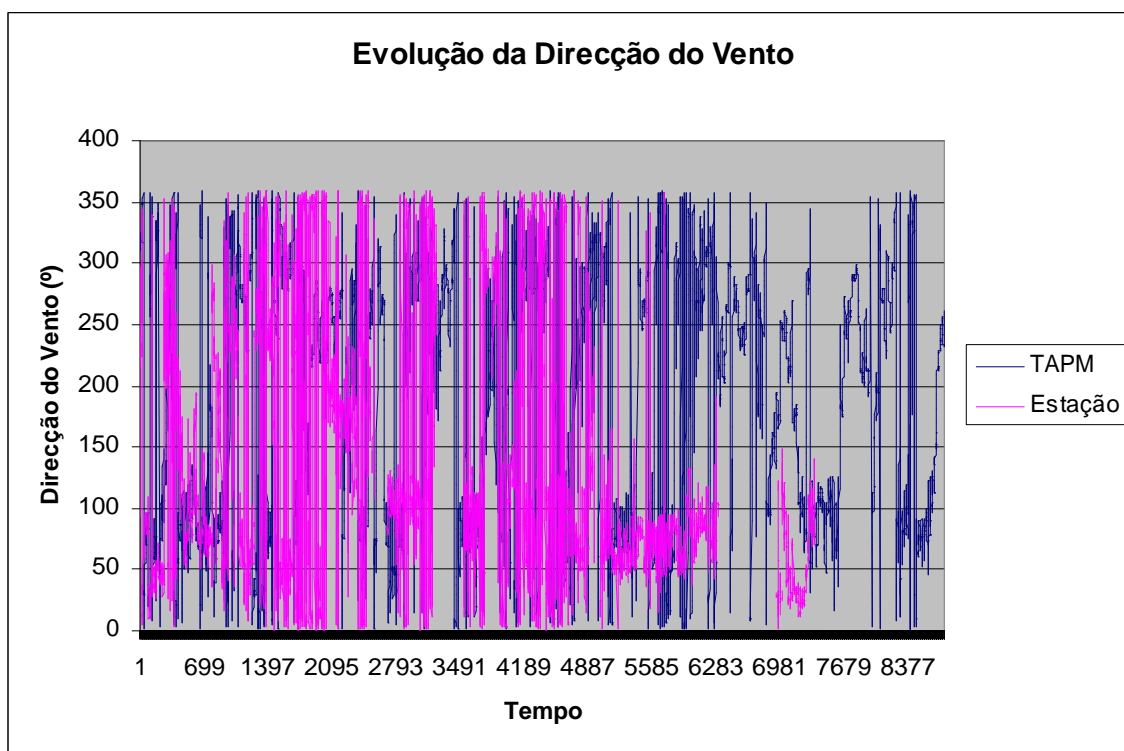
Nas figuras 4.3 a 4.7 apresenta-se a comparação gráfica dos parâmetros meteorológicos em análise, entre os valores medidos na estação de Lamas de Olo e os estimados pelo modelo para o domínio de estudo número três (o que apresentou melhores resultados).



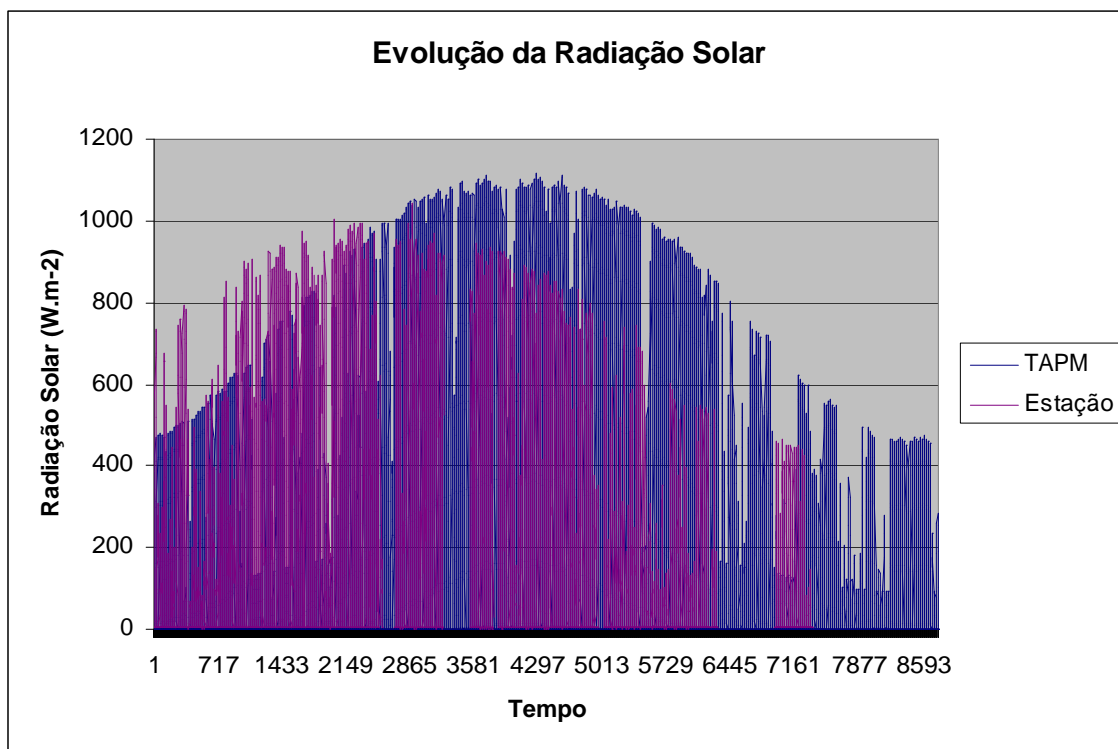
Figuras 4.3. Comparação dos dados medidos com os dados simulados para a temperatura para o domínio três.



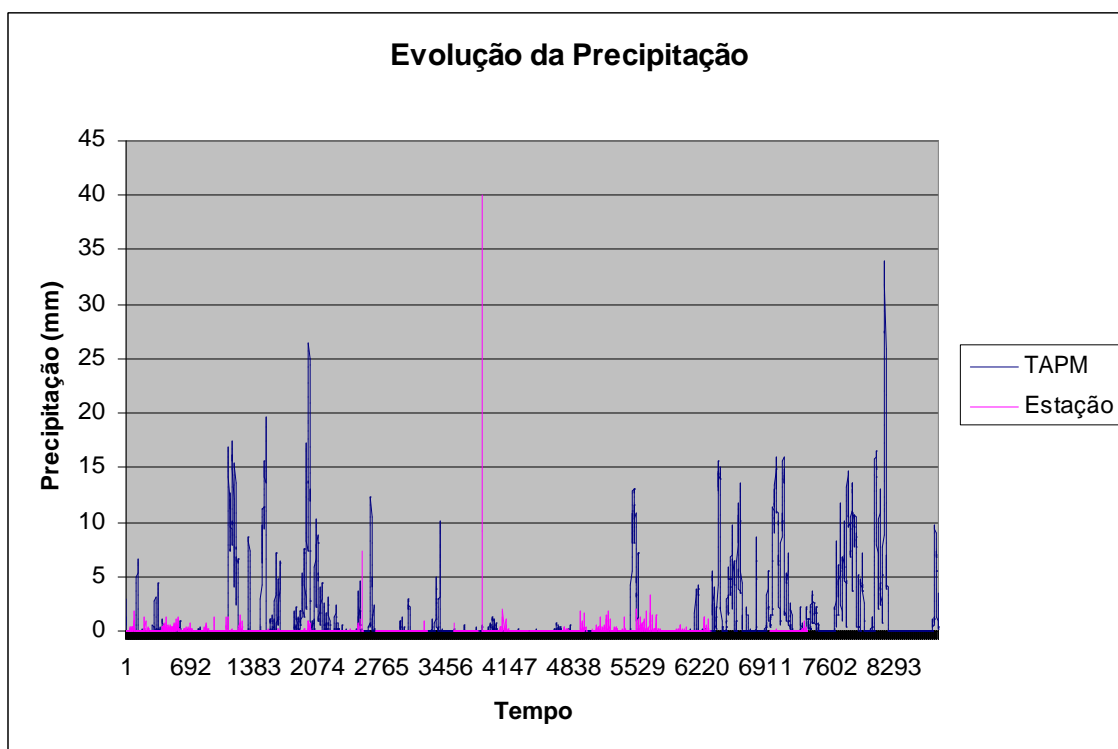
Figuras 4.4. Comparação dos dados medidos com os dados simulados para a velocidade do vento para o domínio três.



Figuras 4.5. Comparação dos dados medidos com os dados simulados para a direcção do vento para o domínio três.



Figuras 4.6. Comparação dos dados medidos com os dados simulados para a radiação solar para o domínio três.



Figuras 4.7. Comparação dos dados medidos com os dados simulados para a precipitação para o domínio três.



Analisando qualitativamente as figuras, comprova-se que os parâmetros que revelam maior semelhança entre os dados simulados e os medidos na estação são a temperatura e a radiação solar. No entanto, visualmente, o modelo está longe de ter o comportamento ideal. Os restantes parâmetros continuam longe da realidade. A sobrestimativa da precipitação por exemplo, pode influenciar o desempenho do modelo na simulação dos níveis de ozono, devido ao facto de considerar a ocorrência de deposição húmida dos poluentes atmosféricos, o que leva a uma diminuição dos níveis de ozono na atmosfera.

- Componente da qualidade do ar

A validação da componente da qualidade do ar foi feita tendo em conta a concentração média horária de ozono. Na Tabela 4.3 apresentam-se os coeficientes de correlação para a concentração de ozono para os três domínios de estudo.

Tabela 4.3. Coeficientes de correlação (r^2) para a concentração de ozono para os domínios de estudo.

	Domínio 1	Domínio 2	Domínio 3
Concentração	0,07	0,08	0,09

Através da análise quantitativa dos coeficientes de correlação verifica-se novamente que a semelhança entre os valores medidos e os valores simulados é maior no domínio 3, sendo no entanto, baixa. Na Figura 4.8 apresenta-se a variação média horária dos níveis de ozono medidos e estimados ao longo de 2006, para os três domínios de simulação.

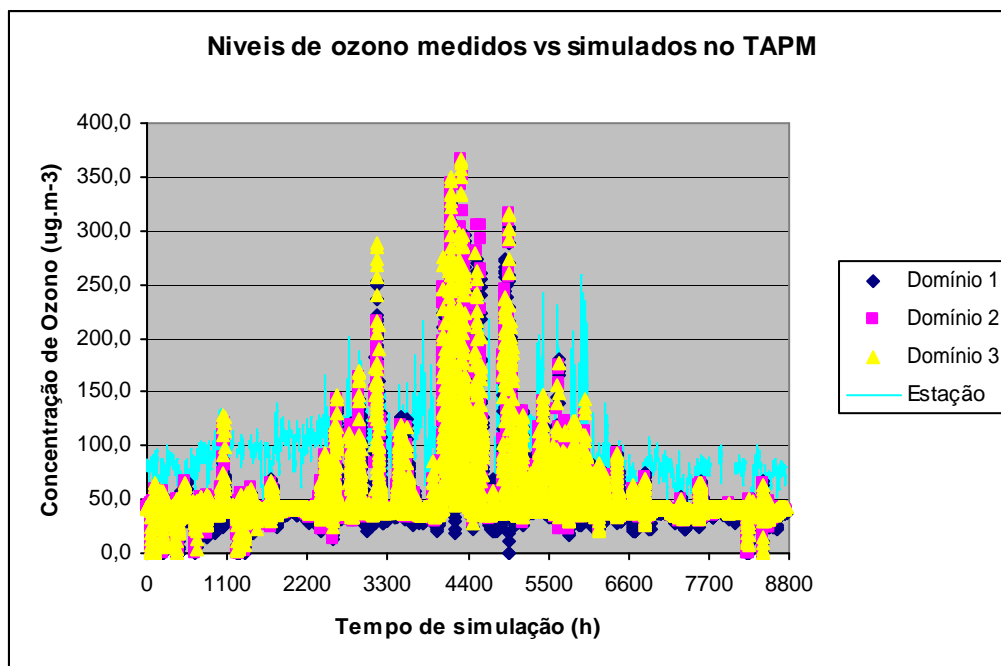


Figura 4.8. Comparação entre os níveis de ozono medidos e os simulados para os três domínios.

Analisando a Figura 4.8 comprova-se que não existe grande semelhança entre os dados simulados e os dados medidos na estação. Também se pode notar que os dados simulados têm grande semelhança entre domínios.

Conclui-se assim que, apesar do modelo conseguir simular alterações resultantes das diferenças na topografia da região, não consegue simular com fiabilidade a qualidade do ar do local em questão. A precipitação foi sobrestimada o que leva a crer ter influído à subavaliação dos níveis de ozono simulados devido ao fenómeno da deposição húmida. O fraco desempenho do modelo em ambas as componentes pode dever-se à irregularidade da topografia na região que leva a uma indefinição da velocidade e direcção dos ventos. Não obstante os obstáculos encontrados, os dados da simulação serão analisados. O domínio escolhido para análise será o domínio 3, dado ter sido aquele que apresentou dados mais próximos da realidade (sendo assim não será possível avaliar se as emissões de Espanha têm consequências nos níveis de ozono de Lamas de Olo).



4.2.3 Resultados da simulação

As simulações efectuadas para estimar as concentrações de ozono permitiram obter a distribuição espacial dos níveis de ozono. Nas Figuras 4.11 a 4.13 apresentam-se os campos de concentração simulados para os meses de Janeiro a Março, Abril a Setembro (meses com maior número de excedências aos limiares e maior incidência de circulações de mesoscala), e Outubro a Dezembro de 2006, respectivamente. Estas distribuições referem-se aos valores máximos horários simulados para o domínio 3 – pretende-se com esta análise identificar as zonas mais afectadas por níveis máximos de ozono estimados (de notar que valores acima dos 90 ppb resultam em excedência ao limiar de informação ao público e acima de 120 resultam em excedência ao limiar de alerta).

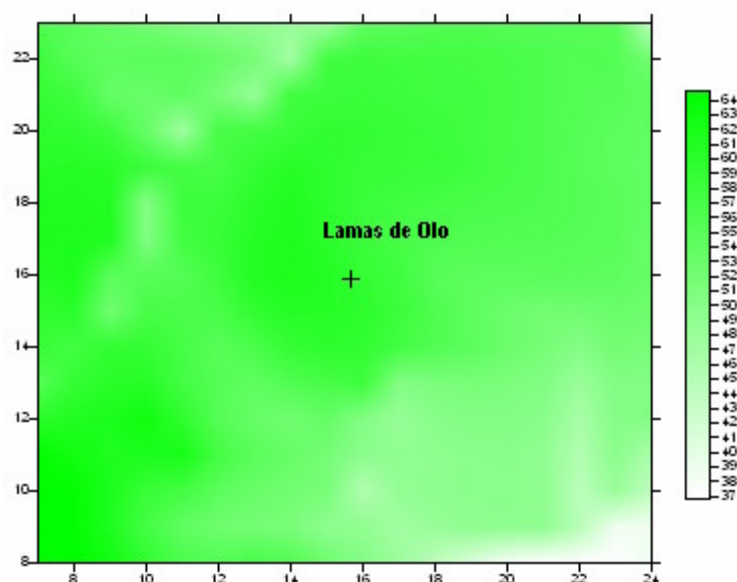


Figura 4.9. Campo de concentrações de ozono para os meses de Janeiro a Março de 2006 – máximos horários, em ppb.

Para os meses de Janeiro a Março verifica-se que os níveis de ozono são mais elevados (apesar de abaixo do limiar de informação à população) na zona de Lamas de Olo, diminuindo progressivamente na periferia. Os níveis são mais baixos a SE.

Este facto pode ser explicado pelas diferenças de cota: se compararmos com a topografia da região (ver Figura 4.2), verificamos que Lamas de Olo é o ponto com maior altitude e que quanto maior a altitude do local, maiores são os níveis de ozono. Este facto pode ser explicado pelas razões já descritas anteriormente no Capítulo 3: possíveis intrusões de ar estratosférico ou a elevação das massas de ar poluídas para zonas de maior altitude como Lamas de Olo.

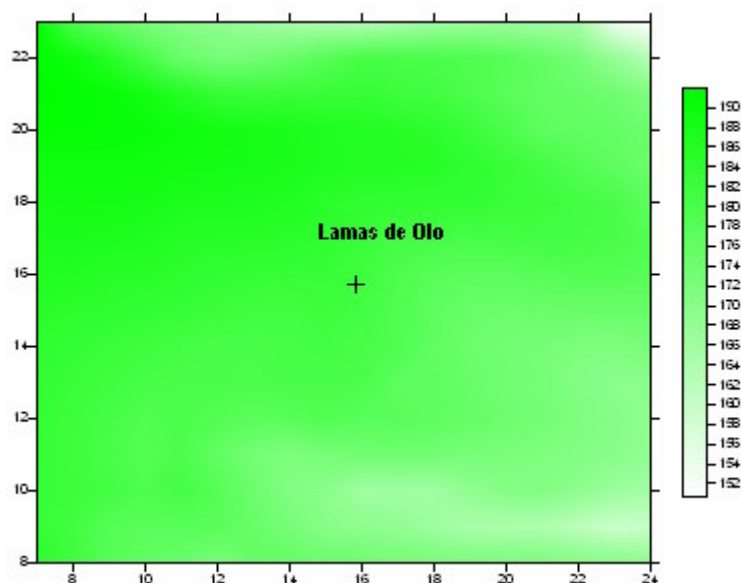


Figura 4.10. Campo de concentrações de ozono para os meses de Abril a Setembro de 2006 – máximos horários, em ppb.

De Abril a Setembro, os meses de maior intensidade fotoquímica, verifica-se que os níveis de ozono são relativamente constantes em todo o domínio, apresentando ligeira diminuição para SE. Verifica-se novamente que é em zonas com maior altitude que os valores estimados são mais elevados. Comprova-se ainda que os níveis de ozono são superiores aos registados no período anterior, para além de se registarem excedências ao limiar de alerta com grande frequência e em todo o domínio.

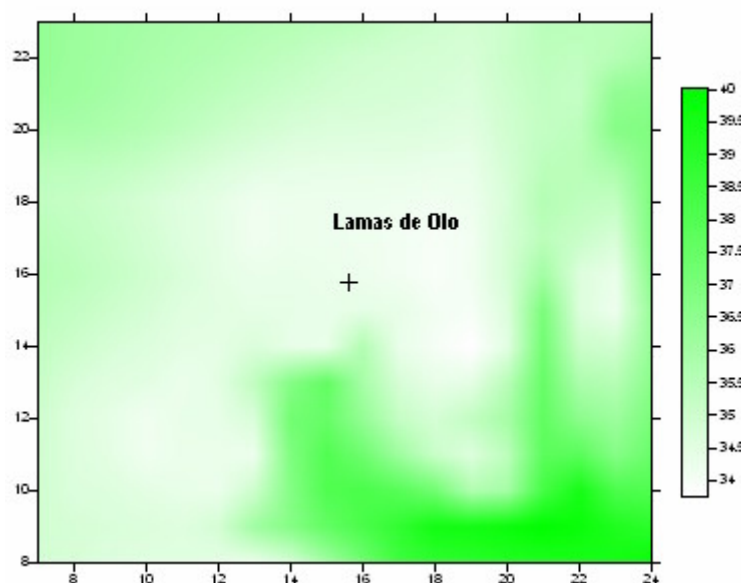


Figura 4.11. Campo de concentrações de ozono para os meses de Outubro a Dezembro de 2006 – máximos horários, em ppb.



Os campos de concentração de ozono para os meses de Outubro a Dezembro revelam a existência de valores mais elevados de ozono para SE, ao contrário do relatado para os restantes meses. Verifica-se ainda que não há qualquer excedência de qualquer limiar durante este período de tempo.

Comparando os diversos campos de concentração comprova-se que os valores mais elevados ocorrem nos meses de Abril a Setembro, enquanto que os mais baixos registam-se entre Outubro e Dezembro.

Através da análise qualitativa dos diversos campos de concentração de ozono apresentados, pode-se verificar que os níveis de ozono também podem ser elevados em determinadas zonas onde não existe qualquer monitorização da qualidade do ar. Como se pode conferir pela análise das figuras 4.9 a 4.11, as áreas mais afectadas variam ao longo do ano, presumivelmente devido às variações das massas de ar.



5. COMENTÁRIOS FINAIS

Neste trabalho desenvolveu-se um estudo sobre o ozono troposférico na zona Norte Interior que incluiu uma caracterização da situação que se tem registado no local desde a instalação da estação de monitorização em Lamas de Olo. Foi aplicado, e validado com dados medidos na região, um modelo de qualidade de ar e meteorológico adaptado à simulação da produção de ozono. Pretendia-se avaliar possíveis razões para a ocorrência dos níveis de ozono registados no local. O ano escolhido para simulação da qualidade do ar foi o ano de 2006 (por ser o mais recente com dados validados disponíveis e devido ao facto do projecto FOTONET decorrer neste ano). Este não foi um ano de grandes incidentes, nomeadamente incêndios ou grandes excedências dos níveis de ozono.

Inicialmente realizou-se o estudo da evolução dos níveis de ozono na região, baseado na análise dos dados da estação de monitorização da qualidade do ar Lamas de Olo. Tendo-se verificado uma tendência para ocorrência de bastantes excedências aos valores legislados, essas situações foram tratadas com maior detalhe. Registou-se que ocorriam em maior quantidade no Verão e estavam associadas a fenómenos de transporte a longa distância e/ou redistribuição vertical das massas de ar. Constatou-se ainda que foi durante o Verão que se assinalaram os piores episódios fotoquímicos (os valores máximos mais elevados).

Posteriormente foi realizado um estudo comparativo dos níveis de ozono medidos e simulados. A análise da resposta ao nível da componente meteorológica demonstrou sensibilidade à presença da topografia, apresentando dados razoáveis para alguns dos parâmetros estudados em comparação com os dados reais, nomeadamente a temperatura e a radiação solar. Porém, a análise do desempenho da componente de qualidade do ar revelou uma tendência de subavaliação dos valores medidos, apesar de simular as tendências registadas na estação de monitorização da qualidade do ar.

No entanto, apesar de ser uma estação rural de fundo, não foi possível a simulação correcta das suas características específicas com um modelo de mesoscala do tipo TAPM. Seria necessário aumentar ainda mais a resolução espacial horizontal da simulação, o que não foi possível no âmbito



deste trabalho. Por outro lado, uma maior discretização vertical do domínio e a possibilidade de variar em altura as condições de fronteira e iniciais associadas à qualidade do ar, parece fundamental na simulação e análise deste caso de estudo. O ideal seria realizar uma simulação que integrasse todo o Norte de Portugal, Galiza e Léon com uma resolução mais fina ($1 \times 1 \text{ km}^2$) e com um inventário de emissões também ele mais detalhado tanto no espaço como no tempo. Apesar das limitações identificadas, foi possível concluir que os meses de maior poluição fotoquímica foram entre Abril e Setembro, como já esperado pela análise dos valores medidos na estação. Esta análise revelou também que existem zonas ao redor de Lamas de Olo, sem qualquer monitorização da qualidade do ar, que podem apresentar níveis elevados de ozono. Daí a necessidade de ampliar e redefinir a rede de monitorização da qualidade do ar, tendo em conta modelações como esta, de modo a identificar as zonas que necessitam de maior controlo.

A análise efectuada sobre a evolução dos níveis de ozono na região permitiu compreender as lacunas existentes, sendo relevante sugerir algumas linhas de investigação futura. É fundamental ampliar e redefinir a rede de monitorização e desenvolver e aplicar uma metodologia periódica de manutenção preventiva e calibração dos sensores. Só assim se obterão séries com um nível de eficiência suficientemente elevado e fiável. Será ainda fundamental a análise de outros precursores do ozono, como os Compostos Orgânicos Voláteis, uma vez que a sua não monitorização leva a que não seja possível avaliar de forma eficiente o precursor sobre o qual o controlo de emissões deverá ser efectuado. Para além disso, o investimento na execução de inventários de emissões mais detalhados e uma análise comparativa entre modelos também levariam a uma melhor avaliação da qualidade do ar.



REFERÊNCIAS:

Agência Europeia do Ambiente, 1998, *O Ambiente na Europa: Segunda Avaliação*, Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, Elsevier Science Ltd.

Barros, N., 1999, *Poluição Atmosférica por foto-oxidantes: o ozono troposférico na região de Lisboa*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente, Aveiro

Borrego, C., et al, 2005 a, *Elaboração de planos e programas de acção para a melhoria da qualidade do ar na região norte*, Aveiro

Borrego, C., et al, 2005 b, *Estado da qualidade do ar na Região Norte – 2004*, Aveiro

Carvalho, A., 2005, *A Qualidade do Ar e as Alterações Climáticas em Portugal*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Doutor em Ciências Aplicadas ao Ambiente, Aveiro

Coutinho, 1995, *As circulações atmosféricas de mesoscala na costa portuguesa – Aplicação da Teoria Transiliente da Turbulência*, Aveiro

Coutinho, M., et al, 1992, *Características dos episódios de produção fotoquímica em Portugal*, in 3ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente – Volume I, Aveiro

Coutinho, M., et al, 2004, *Simulation of the plume emitted by a municipal waste incinerator located in the Madeira island*, Aveiro

Evyugina, M., et al, 2006, *Photochemical pollution under sea breeze conditions, during summer, at the Portuguese West Coast*, Elsevier

Felipe-Sotelo, M., et al, 2006, *Investigation of geographical and temporal distribution of tropospheric ozone in Catalonia (North-East Spain) during the period 2000-2004 using multivariate data analysis methods*, Elsevier

Hough, A., 1991, *Modelling the role of nitrogen oxides, hydrocarbons and carbon monoxide in the global formation of tropospheric oxidants*, in *Atmospheric Environment*

Hov, Ø., 1997, *Tropospheric Ozone Research*, Springer, Germany



Hurley. P., 2002, *The Air Pollution Model (TAPM) Version 3. Part 1: Technical Description*, CSIRO – Atmospheric Research, Australia

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1995, *Climate Change 1994 – Radiative Force and Climate Change and Evaluation of the IPCC*, Emissions Cenarios Cambridges University Press, UK

Kiely, G., 1997, *Environmental Engineering*, McGraw-Hill International Editions, Malaysia

Long, J., *et al*, 2005, *Inventario, Análisis y Proyección de las Emisiones Atmosféricas Industriales de Galicia*, Santiago de Compostela

Lopes, M., 1997, *Poluição Fotoquímica no Litoral Português: Modelação de Mesoscala*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Mestre em Poluição Atmosférica, Aveiro

Ribas, A., *et al*, 2006, *Surface ozone mixing ratio increase with altitude in a transect in the Catalan Pyrenees*, Elsevier

Ribeiro, C., 2005, *Aplicação de um Modelo Meteorológico e de Qualidade do Ar a Portugal*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Mestre em Poluição Atmosférica, Aveiro

Seinfeld, J. e Pandis, S., 1997, *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution – From Air Pollution to Climate Change*, John Wiley & Sons, Canada

Silva, C., 2003, *Critérios de Localização de Estações da Qualidade do Ar*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Mestre em Poluição Atmosférica, Aveiro

Valinhas, M., 2003, *Modelação da Deposição de Poluentes Atmosféricos: Aplicação ao conceito de Cargas Críticas*, dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Mestre em Poluição Atmosférica, Aveiro



URL1: www.ccdr-n.pt

URL2: www.ine.pt

URL3: www.emep.int



ANEXOS:

Anexo I – Parâmetros estatísticos referentes aos dados da estação de monitorização de Lamas de Olo

Anexo II – Dados referentes aos episódios fotoquímicos na estação de monitorização de Lamas de Olo

ANEXO I

Parâmetros estatísticos referentes aos dados da estação de monitorização de Lamas de Olo

- *Dados de qualidade do ar*

Os dados de ozono obtidos da estação apresentavam as seguintes características (ver Tabelas I.1 a I.3) em base horária:

Tabela I.1. Parâmetros estatísticos relativos aos dados de ozono para o ano de 2004.

ANO 2004		Eficiência (%)	Dados validados	Média ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Máximo ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Mínimo ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
Anual		79,0 (*)	6 935	100,8	284	30
Por estação do ano	Inverno	51,4 (*)	1110	104,9	158	61
	Primavera	58,0	1280	107,4	223	44
	Verão	95,5	2 155	99,8	284	30
	Outono	99,6	2 151	97,4	244	36
Por mês	Fevereiro	99,8	631	97,7	152	62
	Março	99,9	743	115,0	158	61
	Abril	27,8	200	117,2	160	81
	Maio	80,5	599	99,3	171	44
	Junho	54,2	390	102,4	268	40
	Julho	99,7	742	103,5	284	38
	Agosto	99,9	743	95,6	238	30
	Setembro	95,6	688	105,2	219	55
	Outubro	99,2	738	104,7	244	50
	Novembro	99,7	718	96,2	145	43
	Dezembro	99,9	743	83,3	107	36

(*) Não esquecer que os dados relativos ao ano 2004 são apenas a partir de 3 de Fevereiro, daí a eficiência ser muito mais baixa que dos restantes casos.

Tabela I.2. Parâmetros estatísticos relativos aos dados de ozono para o ano de 2005.

ANO 2005		Eficiência (%)	Dados validados	Média ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Máximo ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Mínimo ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
Anual		97,7	8 559	110,1	361	40
Por estação do ano	Inverno	98,6	2 130	96,9	156	54
	Primavera	94,8	2 070	116,2	275	62
	Verão	98,2	2 216	128,1	361	40
	Outono	99,7	2 153	94,2	258	44
Por mês	Janeiro	99,9	743	87,7	111	54
	Fevereiro	100,0	672	100,4	141	73
	Março	99,3	739	111,6	156	70
	Abril	87,8	632	117,3	195	68
	Maio	97,4	725	120,4	275	64
	Junho	90,7	653	134,3	361	49
	Julho	99,9	743	133,1	359	46
	Agosto	99,7	742	130,7	320	40
	Setembro	100,0	720	116,6	285	45
	Outubro	99,6	741	105,3	258	55
	Novembro	99,6	717	87,9	115	49
	Dezembro	98,4	732	77,6	99	44

Tabela I.3. Parâmetros estatísticos relativos aos dados de ozono para o ano de 2006.

ANO 2006		Eficiência (%)	Dados validados	Média ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Máximo ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	Mínimo ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
Anual		91,2	7 989	94,8	271	24
Por estação do ano	Inverno	92,1	1989	86,2	140	36
	Primavera	98,4	2 149	111,4	213	41
	Verão	94,6	2 135	104,1	271	32
	Outono	78,9	1705	73,1	108	24
Por mês	Janeiro	100,0	744	77,9	105	36
	Fevereiro	79,8	536	94,3	138	56
	Março	99,9	743	95,7	140	38
	Abril	99,9	719	113,9	195	72
	Maio	99,7	742	110,3	211	41
	Junho	92,4	665	116,1	241	58
	Julho	84,5	629	104,0	271	32
	Agosto	99,3	739	101,5	243	34
	Setembro	92,4	665	96,5	261	48
	Outubro	99,2	738	74,0	108	37
	Novembro	64,9	467	69,2	100	24
	Dezembro	80,9	602	75,3	100	46

Os valores da eficiência do ozono são expressos em percentagem do número de horas (medições horárias válidas/medições horárias possíveis).

A ausência de medições coincide, por vezes, com o período de Verão, o período de maior interesse para este estudo. De acordo com a legislação em vigor, para que a análise de agregação de dados (valores horários) seja válida é essencial uma percentagem de sucesso superior a 75%. Sendo assim, parâmetros com percentagem de sucesso inferior a 75 % não serão considerados fiáveis uma vez que não representam adequadamente a distribuição dos valores de concentração média horária do ozono. Neste caso referem-se os dados de Abril, Junho, Inverno e Primavera de 2004, e Novembro de 2006 como não sendo fiáveis.

Em alguns casos foi necessário o cálculo de AOT40. Uma vez que os dados para esse cálculo não estavam todos disponíveis, foi necessário seguir o descrito no Anexo III, ponto II, do Decreto-Lei:

(a) No caso de não estarem disponíveis todos os dados, deve ser utilizado o seguinte factor para o cálculo dos valores *AOT*40:

$$AOT\ 40_{(estimado)} = AOT\ 40_{(medido)} \times (\text{número total de horas possíveis}) / (\text{número de valores horários medidos})$$

sendo número total de horas possíveis o número de horas dentro do período de tempo considerado para a definição do *AOT*40 (das 8 às 20 horas da Europa Central, de 1 de Maio até 31 de Julho de cada ano, para protecção da vegetação, e de 1 de Abril até 30 de Setembro de cada ano, para protecção da floresta).

- Dados meteorológicos

Para este trabalho foram disponibilizadas pela CCDR-Norte, as médias horárias da temperatura, radiação solar, humidade relativa, velocidade e direcção do vento, e precipitação para o período entre 2004 (a partir de Julho) e 2006, registadas na estação de monitorização de Lamas de Olo. No entanto, devido a problemas de comunicação causados por avarias e incompatibilidade de software, não foi possível obter dados para todas as situações. Na tabela I.4 pode-se ter noção da quantidade de dados obtidos.

Tabela I.4. Eficiência anual dos parâmetros meteorológicos registados na estação de Lamas de Olo.

	Quantidade de registos meteorológicos	Horas totais anuais de funcionamento da estação	Eficiência anual (%)
2004	4 232	4 414	95,9
2005	2 648	8 759	30,2
2006	6 051	8 759	69,1

ANEXO II

Dados referentes aos episódios fotoquímicos na estação de monitorização de Lamas de Olo

Neste anexo são apresentadas tabelas de dados considerados relevantes das situações em que foram ultrapassados os 180 $\mu\text{g.m}^3$ de concentração média horária de ozono, classificadas como episódios fotoquímicos neste trabalho.

Tabela II.1. Excedências horárias de ozono ao limiar de informação ao público na estação de monitorização de Lamas de Olo para o ano de 2004 (Fonte: Instituto do Ambiente).

Dia	Hora UTC		Concentração $\mu\text{g.m}^3$
	Início	Fim	
17 de Junho	15:00	15:59	218
	16:00	16:59	223
	17:00	17:59	197
18 de Junho	12:00	12:59	218
	13:00	13:59	216
28 de Junho	17:00	17:59	185
29 de Junho	15:00	15:59	249
	16:00	16:59	268
	17:00	17:59	239
	18:00	18:59	196
15 de Julho	15:00	15:59	194
	16:00	16:59	284
	17:00	17:59	224
	18:00	18:59	185
16 de Julho	13:00	13:59	221
	14:00	14:59	258
	15:00	15:59	256
	16:00	16:59	208
	17:00	17:59	196
	18:00	18:59	209
	19:00	19:59	202
	20:00	20:59	181
23 de Julho	18:00	18:59	188
	19:00	19:59	189
	20:00	20:59	187
	21:00	21:59	186
25 de Julho	17:00	17:59	189
26 de Julho	15:00	15:59	225
	16:00	16:59	267
	17:00	17:59	194
27 de Julho	14:00	14:59	197
	15:00	15:59	236
30 de Julho	15:00	15:59	185
	16:00	16:59	208
	17:00	17:59	194

31 de Julho	13:00	13:59	203
	14:00	14:59	188
	15:00	15:59	182
	16:00	16:59	181
1 de Agosto	13:00	13:59	182
6 de Agosto	15:00	15:59	181
	16:00	16:59	188
27 de Agosto	15:00	15:59	212
	16:00	16:59	231
	17:00	17:59	238
	18:00	18:59	217
	19:00	19:59	189
28 de Agosto	15:00	15:59	193
31 de Agosto	16:00	16:59	188
	17:00	17:59	184
17 de Setembro	17:00	17:59	193
	18:00	18:59	197
	19:00	19:59	188
	20:00	20:59	193
	21:00	21:59	188
	22:00	22:59	186
28 de Setembro	17:00	17:59	208
	18:00	18:59	192
29 de Setembro	14:00	14:59	190
	15:00	15:59	209
	16:00	16:59	197
	17:00	17:59	219
	18:00	18:59	213
	19:00	19:59	190
30 de Setembro	16:00	16:59	186
	17:00	17:59	209
	18:00	18:59	201
	19:00	19:59	193
1 de Outubro	14:00	14:59	200
	15:00	15:59	244
	16:00	16:59	242
	17:00	17:59	204
4 de Outubro	16:00	16:59	183
7 de Outubro	16:00	16:59	191
	17:00	17:59	186

NOTA: A negrito encontram-se os valores que excedem o limiar de alerta à população.

Tabela II.2. Excedências horárias de ozono ao limiar de informação ao público na estação de monitorização de Lamas de Olo para o ano de 2005 (Fonte: Instituto do Ambiente).

Dia	Hora UTC		Concentração $\mu\text{g.m}^3$
	Início	Fim	
28 de Abril	17:00	17:59	190
29 de Abril	18:00	18:59	187
	19:00	19:59	182
30 de Abril	16:00	16:59	195

	17:00	17:59	191
7 de Maio	17:00	17:59	184
	18:00	18:59	207
	19:00	19:59	193
	20:00	20:59	184
19 de Maio	17:00	17:59	190
24 de Maio	19:00	19:59	217
	20:00	20:59	210
	21:00	21:59	205
	22:00	22:59	182
25 de Maio	14:00	14:59	214
	15:00	15:59	275
	16:00	16:59	257
	17:00	17:59	241
	18:00	18:59	237
	19:00	19:59	230
	20:00	20:59	206
	21:00	21:59	195
	22:00	22:59	201
	23:00	23:59	189
26 de Maio	0:00	0:59	183
	9:00	9:59	190
	10:00	10:59	192
	11:00	11:59	195
	12:00	12:59	185
	14:00	14:59	185
	15:00	15:59	196
	16:00	16:59	201
	17:00	17:59	188
27 de Maio	0:00	0:59	193
	1:00	1:59	196
2 de Junho	15:00	15:59	241
	16:00	16:59	297
	17:00	17:59	234
	18:00	18:59	228
	19:00	19:59	219
	20:00	20:59	186
8 de Junho	16:00	16:59	184
	17:00	17:59	182
	18:00	18:59	181
	19:00	19:59	181
9 de Junho	14:00	14:59	188
	15:00	15:59	185
	16:00	16:59	193
	17:00	17:59	299
	18:00	18:59	315
	19:00	19:59	292
	20:00	20:59	252
	21:00	21:59	211
	22:00	22:59	221

	23:00	23:59	239
10 de Junho	0:00	0:59	234
	1:00	1:59	209
	2:00	2:59	196
	13:00	13:59	188
	16:00	16:59	218
	17:00	17:59	224
	18:00	18:59	219
	19:00	19:59	209
	20:00	20:59	193
	21:00	21:59	186
17 de Junho	18:00	18:59	210
	19:00	19:59	258
	20:00	20:59	246
	21:00	21:59	226
	22:00	22:59	201
	23:00	23:59	186
18 de Junho	14:00	14:59	223
	15:00	15:59	301
	16:00	16:59	291
	17:00	17:59	253
	18:00	18:59	227
	19:00	19:59	209
19 de Junho	11:00	11:59	182
	13:00	13:59	182
	14:00	14:59	187
	15:00	15:59	197
	16:00	16:59	223
	17:00	17:59	207
22 de Junho	13:00	13:59	195
	14:00	14:59	197
	15:00	15:59	191
	17:00	17:59	182
	18:00	18:59	269
	19:00	19:59	361
	20:00	20:59	316
	21:00	21:59	259
	22:00	22:59	222
	23:00	23:59	228
23 de Junho	0:00	0:59	255
	1:00	1:59	283
	2:00	2:59	278
	3:00	3:59	260
	4:00	4:59	251
	5:00	5:59	246
	6:00	6:59	225
	7:00	7:59	191
	13:00	13:59	233
	14:00	14:59	257
	15:00	15:59	261

	16:00	16:59	255
	17:00	17:59	235
2 de Julho	17:00	17:59	212
	18:00	18:59	252
	19:00	19:59	232
	20:00	20:59	214
	21:00	21:59	208
	22:00	22:59	195
	23:00	23:59	186
3 de Julho	14:00	14:59	191
	15:00	15:59	201
	16:00	16:59	198
	17:00	17:59	186
	18:00	18:59	212
11 de Julho	12:00	12:59	186
	13:00	13:59	188
	14:00	14:59	193
	15:00	15:59	199
	16:00	16:59	204
	17:00	17:59	353
	18:00	18:59	336
	19:00	19:59	266
	20:00	20:59	258
	21:00	21:59	240
	22:00	22:59	214
	23:00	23:59	205
12 de Julho	0:00	0:59	201
	1:00	1:59	210
	2:00	2:59	201
	3:00	3:59	189
	11:00	11:59	186
	12:00	12:59	195
	13:00	13:59	198
	14:00	14:59	209
	15:00	15:59	221
	16:00	16:59	220
	17:00	17:59	202
	18:00	18:59	343
	19:00	19:59	336
	20:00	20:59	289
	21:00	21:59	293
	22:00	22:59	258
	23:00	23:59	219
13 de Julho	0:00	0:59	207
	1:00	1:59	198
	11:00	11:59	185
	12:00	12:59	197
	13:00	13:59	206
	14:00	14:59	196
	15:00	15:59	246

	16:00	16:59	359
	17:00	17:59	334
	18:00	18:59	261
	19:00	19:59	219
	20:00	20:59	210
	21:00	21:59	204
	22:00	22:59	183
14 de Julho	2:00	2:59	183
	3:00	3:59	197
	4:00	4:59	200
	5:00	5:59	212
	6:00	6:59	191
	7:00	7:59	196
	8:00	8:59	204
	9:00	9:59	210
	10:00	10:59	208
	11:00	11:59	194
	12:00	12:59	185
	15:00	15:59	186
	16:00	16:59	207
	17:00	17:59	244
	18:00	18:59	266
	19:00	19:59	232
	20:00	20:59	185
15 de Julho	14:00	14:59	183
	15:00	15:59	222
	16:00	16:59	222
	17:00	17:59	234
	18:00	18:59	226
	19:00	19:59	204
16 de Julho	15:00	15:59	181
	16:00	16:59	187
20 de Julho	14:00	14:59	186
	15:00	15:59	197
	16:00	16:59	201
	17:00	17:59	311
	18:00	18:59	335
	19:00	19:59	296
	20:00	20:59	276
	21:00	21:59	271
	22:00	22:59	259
21 de Julho	23:00	23:59	243
	0:00	0:59	245
	1:00	1:59	212
	2:00	2:59	202
	3:00	3:59	188
	12:00	12:59	200
	13:00	13:59	231
	14:00	14:59	288
	15:00	15:59	312
	16:00	16:59	280

	17:00	17:59	250
	18:00	18:59	227
	19:00	19:59	193
22 de Julho	0:00	0:59	186
	1:00	1:59	189
	2:00	2:59	192
	3:00	3:59	200
	4:00	4:59	190
	5:00	5:59	188
	13:00	13:59	189
	14:00	14:59	216
	15:00	15:59	244
	16:00	16:59	263
	17:00	17:59	268
	18:00	18:59	262
	19:00	19:59	256
	20:00	20:59	226
	21:00	21:59	193
23 de Julho	14:00	14:59	199
	15:00	15:59	203
3 de Agosto	17:00	17:59	181
5 de Agosto	16:00	16:59	189
	17:00	17:59	195
	18:00	18:59	184
	20:00	20:59	186
	21:00	21:59	186
	22:00	22:59	191
	23:00	23:59	200
6 de Agosto	0:00	0:59	208
	1:00	1:59	186
	2:00	2:59	181
	3:00	3:59	190
	4:00	4:59	186
	13:00	13:59	183
	14:00	14:59	193
	15:00	15:59	201
	16:00	16:59	228
	17:00	17:59	252
	18:00	18:59	258
	19:00	19:59	276
	20:00	20:59	283
	21:00	21:59	320
	22:00	22:59	308
	23:00	23:59	297
7 de Agosto	0:00	0:59	296
	1:00	1:59	268
	2:00	2:59	244
	3:00	3:59	244
	4:00	4:59	224
	5:00	5:59	221
	6:00	6:59	189
	13:00	13:59	187
	14:00	14:59	188

	15:00	15:59	258
	16:00	16:59	309
	17:00	17:59	297
	18:00	18:59	255
	19:00	19:59	218
	20:00	20:59	202
8 de Agosto	17:00	17:59	182
	18:00	18:59	189
13 de Agosto	18:00	18:59	182
14 de Agosto	17:00	17:59	183
	18:00	18:59	192
	19:00	19:59	182
15 de Agosto	16:00	16:59	244
	17:00	17:59	258
	18:00	18:59	261
	19:00	19:59	243
	20:00	20:59	222
	21:00	21:59	207
	23:00	23:59	183
16 de Agosto	12:00	12:59	187
	13:00	13:59	215
	14:00	14:59	268
	15:00	15:59	275
	16:00	16:59	262
	17:00	17:59	259
	18:00	18:59	252
	19:00	19:59	233
	20:00	20:59	213
	21:00	21:59	202
	22:00	22:59	186
17 Agosto	14:00	14:59	209
	15:00	15:59	198
	16:00	16:59	188
	17:00	17:59	206
	18:00	18:59	224
	19:00	19:59	206
	20:00	20:59	190
18 Agosto	13:00	13:59	185
	14:00	14:59	202
	15:00	15:59	214
	16:00	16:59	211
19 Agosto	15:00	15:59	181
	16:00	16:59	189
	17:00	17:59	183
20 Agosto	15:00	15:59	184
	16:00	16:59	199
	17:00	17:59	188
22 Agosto	17:00	17:59	234
	18:00	18:59	249
	19:00	19:59	241
	20:00	20:59	237
	21:00	21:59	224
23 Agosto	18:00	18:59	222

	19:00	19:59	197
	20:00	20:59	184
24Agosto	14:00	14:59	208
	15:00	15:59	247
	16:00	16:59	254
	17:00	17:59	257
	18:00	18:59	223
	19:00	19:59	196
29Agosto	16:00	16:59	283
	17:00	17:59	298
	18:00	18:59	267
	19:00	19:59	215
	20:00	20:59	188
30Agosto	14:00	14:59	214
	15:00	15:59	233
	16:00	16:59	230
	17:00	17:59	202
	18:00	18:59	188
1Setembro	16:00	16:59	188
2Setembro	15:00	15:59	183
	16:00	16:59	193
	17:00	17:59	213
	18:00	18:59	182
15Setembro	17:00	17:59	184
	18:00	18:59	200
	19:00	19:59	200
	20:00	20:59	185
16Setembro	14:00	14:59	196
	15:00	15:59	186
	16:00	16:59	196
20Setembro	19:00	19:59	183
	20:00	20:59	195
	21:00	21:59	194
	22:00	22:59	195
	23:00	23:59	183
21 de Setembro	15:00	15:59	181
	16:00	16:59	202
	17:00	17:59	243
	18:00	18:59	285
	19:00	19:59	218
	20:00	20:59	204
	21:00	21:59	220
	22:00	22:59	217
22 de Setembro	23:00	23:59	200
	0:00	0:59	195
	1:00	1:59	187
	3:00	3:59	194
	4:00	4:59	191
	5:00	5:59	193
	6:00	6:59	192
	7:00	7:59	200
	8:00	8:59	196
	9:00	9:59	199

	10:00	10:59	209
	11:00	11:59	203
	12:00	12:59	203
	13:00	13:59	210
	14:00	14:59	220
	15:00	15:59	228
	16:00	16:59	223
	17:00	17:59	222
	18:00	18:59	215
	19:00	19:59	187
23 Setembro	15:00	15:59	183
27 Setembro	17:00	17:59	192
	18:00	18:59	197
28 Setembro	15:00	15:59	188
	16:00	16:59	217
	17:00	17:59	247
	18:00	18:59	220
5 de Outubro	19:00	19:59	181
	20:00	20:59	199
	21:00	21:59	194
6 de Outubro	18:00	18:59	197
	19:00	19:59	258
	20:00	20:59	252
	21:00	21:59	216
	22:00	22:59	181
7 de Outubro	15:00	15:59	181
	16:00	16:59	186
	17:00	17:59	211
	18:00	18:59	219
	19:00	19:59	225
	20:00	20:59	221
	21:00	21:59	204
	22:00	22:59	187
8 de Outubro	1:00	1:59	183
	2:00	2:59	190
	3:00	3:59	192
	4:00	4:59	183
	5:00	5:59	199
	6:00	6:59	189
	7:00	7:59	188

NOTA: A negrito encontram-se os valores que excedem o limiar de alerta à população.

Tabela II.3. Excedências horárias de ozono ao limiar de informação ao público na estação de monitorização de Lamas de Olo para o ano de 2006 (Fonte: Instituto do Ambiente).

Dia	Hora UTC		Concentração $\mu\text{g.m}^{-3}$
	Início	Fim	
26 de Abril	17:00	17:59	199
	18:00	18:59	187
1 de Maio	15:00	15:59	188
10 de Maio	16:00	16:59	207
	17:00	17:59	195

2 de Junho	20:00	20:59	185
7 de Junho	16:00	16:59	214
	17:00	17:59	201
	18:00	18:59	184
21 de Junho	15:00	15:59	190
	16:00	16:59	209
	17:00	17:59	204
	18:00	18:59	187
22 de Junho	16:00	16:59	216
	17:00	17:59	240
	18:00	18:59	215
	19:00	19:59	191
	20:00	20:59	196
	21:00	21:59	191
	22:00	22:59	188
23 de Junho	13:00	13:59	181
	14:00	14:59	191
	15:00	15:59	184
29 de Junho	16:00	16:59	189
	17:00	17:59	198
	18:00	18:59	189
30 de Junho	15:00	15:59	211
	16:00	16:59	219
	17:00	17:59	188
8 de Julho	14:00	14:59	188
	15:00	15:59	201
	16:00	16:59	202
10 de Julho	14:00	14:59	220
	15:00	15:59	258
	16:00	16:59	248
	17:00	17:59	230
	18:00	18:59	209
	19:00	19:59	213
	20:00	20:59	211
	21:00	21:59	186
11 de Julho	18:00	18:59	192
	19:00	19:59	246
	20:00	20:59	264
	21:00	21:59	195
15 de Julho	17:00	17:59	217
26 de Julho	15:00	15:59	189
11 de Agosto	18:00	18:59	195
	19:00	19:59	190
12 de Agosto	16:00	16:59	203
14 de Agosto	15:00	15:59	194
	16:00	16:59	236
	17:00	17:59	242
	18:00	18:59	222
	19:00	19:59	211
	20:00	20:59	199
	21:00	21:59	196
15 de Agosto	01:00	01:59	186

22 de Agosto	16:00	16:59	182
	17:00	17:59	226
	18:00	18:59	230
	19:00	19:59	191
	20:00	20:59	183
23 de Agosto	13:00	13:59	198
	14:00	14:59	227
	15:00	15:59	216
	16:00	16:59	206
	17:00	17:59	201
	18:00	18:59	188
31 de Agosto	15:00	15:59	189
	16:00	16:59	188
	17:00	17:59	185
1 de Setembro	16:00	16:59	193
	17:00	17:59	206
	18:00	18:59	195
5 de Setembro	17:00	17:59	258
	18:00	18:59	259
	19:00	19:59	224
	20:00	20:59	189
6 de Setembro	14:00	14:59	183
	15:00	15:59	242
	16:00	16:59	205
7 de Setembro	15:00	15:59	188
	16:00	16:59	204
	17:00	17:59	203
	18:00	18:59	204
	19:00	19:59	195
8 de Setembro	14:00	14:59	199
	15:00	15:59	229
	16:00	16:59	235
	17:00	17:59	224
	18:00	18:59	212
	19:00	19:59	206
	20:00	20:59	199
9 de Setembro	14:00	14:59	184

NOTA: A negrito encontram-se os valores que excedem o limiar de alerta à população.

Hora UTC: hora legal de Inverno = hora UTC; hora legal de Verão = hora UTC+1

Resumo dos dias de excedência ao ozono entre 2004 e 2006

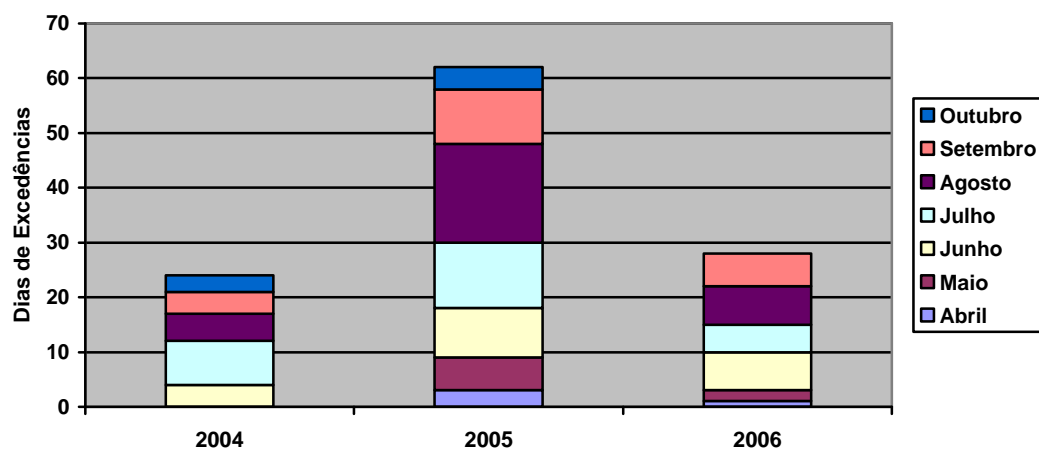


Figura II.1. Dias de Excedências dos anos 2004 (a partir de 3 de Fevereiro), 2005 e 2006.

Tabela II.4. Excedências nocturnas aos limiares de informação e de alerta na estação de Lamas de Olo.

2004			2005			2006			
16 Julho	20:00	181	7 Maio	20:00	184	22 Junho	20:00	196	
23 Julho	20:00	187	24 Maio	20:00	210		21:00	190	
	21:00	186		21:00	205		22:00	191	
17 Setembro	20:00	193		22:00	182		23:00	180	
	21:00	188	25 Maio	20:00	206	10 Julho	20:00	212	
	22:00	186		21:00	195		21:00	200	
				22:00	201	11 Julho	20:00	271	
				23:00	189		21:00	212	
			26 Maio	0:00	183	11 Agosto	21:00	183	
			27 Maio	0:00	193	14 Agosto	20:00	201	
				1:00	196		21:00	199	
			2 Junho	20:00	186	15 Agosto	1:00	182	
			9 Junho	20:00	252		2:00	184	
				21:00	211	22 Agosto	20:00	182	
				22:00	221		21:00	182	
				23:00	239	5 Setembro	20:00	190	
			10 Junho	0:00	234		21:00	182	
				1:00	209	8 Setembro	20:00	205	
				2:00	196				
				20:00	193				
			17 Junho	21:00	186				
				20:00	246				
				21:00	226				
			22 Junho	22:00	201				
				20:00	316				
				21:00	259				
				22:00	222				
			23 Junho	23:00	228				
				0:00	255				

		1:00	283
		2:00	278
		3:00	260
		4:00	251
		5:00	246
		6:00	225
		7:00	191
2 Julho		20:00	214
		21:00	208
		22:00	195
		23:00	186
11 Julho		20:00	258
		21:00	240
		22:00	214
		23:00	205
12 Julho		0:00	201
		1:00	210
		2:00	201
		3:00	189
		20:00	289
		21:00	293
		22:00	258
13 Julho		23:00	219
		0:00	207
		1:00	198
		20:00	210
		21:00	204
14 Julho		22:00	183
		2:00	183
		3:00	197
		4:00	200
		5:00	212
		6:00	191
20 Julho		7:00	196
		20:00	185
		20:00	276
		21:00	271
21 Julho		22:00	259
		23:00	243
		0:00	245
		1:00	212
22 Julho		2:00	202
		3:00	188
		0:00	186
		1:00	189
		2:00	192
		3:00	200
		4:00	190
		5:00	188
5 Agosto		20:00	226
		21:00	193
		20:00	186
		21:00	186
6 Agosto		22:00	191
		23:00	200
		0:00	208
		1:00	186
		2:00	181
		3:00	190

		4:00	186
		20:00	283
		21:00	320
		22:00	308
		23:00	297
7 Agosto		0:00	296
		1:00	268
		2:00	244
		3:00	244
		4:00	224
		5:00	221
		6:00	189
15 Agosto		20:00	202
		21:00	222
		23:00	207
16 Agosto		20:00	183
		21:00	213
		22:00	202
17 Agosto		20:00	186
		21:00	190
		22:00	237
22 Agosto		20:00	224
		21:00	224
23 Agosto		20:00	184
29 Agosto		20:00	188
15 Setembro		20:00	185
20 Setembro		20:00	195
		21:00	194
		22:00	195
		23:00	183
21 Setembro		20:00	204
		21:00	220
		22:00	217
		23:00	200
22 Setembro		0:00	195
		1:00	187
		3:00	194
		4:00	191
		5:00	193
		6:00	192
		7:00	200
5 Outubro		20:00	199
		21:00	194
6 Outubro		20:00	252
		21:00	216
		22:00	181
7 Outubro		20:00	221
		21:00	204
		22:00	187
8 Outubro		1:00	183
		2:00	190
		3:00	192
		4:00	183
		5:00	199
		6:00	189
		7:00	188